雙月刊

核能簡訊
NUCLEAR NEWSLETTER

NO.167
2017 AUGUST



G20漢堡高峰會的氣候領導時代

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.167 雙月刊

AUGUST 中華民國一〇六年八月號

目錄

封面故事

專題報導

輻射與生活

健康快遞

阮的心聲

核能脈動

核能新聞

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告

編者的話

臉書創辦人查克伯格受邀於美國哈佛大學今年的畢業典禮演講，他認為自由不是理所當然的，現今大家享受的自由是上一代的人所創造的價值；當我們享受平等發言的時刻，也要理解我們所擁有的自由是別人奮鬥來的；因此，我們必須要有使命感。當擁有上一代奮鬥所帶來的自由，且又平等的時刻，你拿你的使命感來做什麼？第一個，應該參與公共事務，改變這個世界；而最重要的議題，就是氣候變遷。G20 漢堡高峰會即是針對此一議題，與各國共同尋求氣候保護共識，期望減緩全球暖化速度，控制全球升溫低於攝氏 2 度。即使美國總統川普執意退出巴黎氣候協議，也無法改變世界各國決心捍衛地球安全而持續努力。甚至法國新科總統馬克宏大力招募氣候變遷學者、研究生與相關人士，並矢言要讓「地球再度偉大」。

前紐約市市長彭博，最近出資拍攝了有關煤炭污染的紀錄片《煤碳真相》。臺灣雖然已不開採煤礦，但仍有許多燃煤火力發電廠。紀錄片內容提到，2016 年全球氣溫又寫下歷史新高，97% 的科學家都認為，是人類讓地球氣溫不斷升高，導致極端氣候不斷釀災。早在 1980 年代，美國就意識到煤炭所產生的污染，率先於 1990 年通過「清潔空氣法修正案」。因燃煤發電廠所產生的氮化合物，隨風飄入大都會區，其中氮氣與汽車廢氣作用，再加上陽光催化，就會在地表形成臭氧，而臭氧正是導致氣喘的主因。但煤炭為主的火力發電仍在持續，專家憂心，若不設法控制溫室氣體排放，最快到這個世紀末，全球氣溫可能增加攝氏 5-6 度，比 6,500 萬年前的恐龍時代還高。普林斯頓大學氣候科學家歐潘海莫教授說：「如今的問題是，我們能不能控制走向，變成善待氣候的世界，而不是淪為氣候煉獄。」

什麼是「原子人文主義」？國際知名能源與氣候環境政策專家，也是知名環保人士─謝倫柏格提出 3 個基本原則：1. 核能是特殊的，別再假裝核能很普通。2. 核能和人是不可分離的。3. 核能需要大家一起採取行動。謝倫柏格認為，不是什麼（what）使核能安全，而是誰（who）使核能安全；人為因素和人機互動最為重要，是文化、訓練和紀律維護著核能的安全。如果要解決氣候變遷的問題，絕不是以化石燃料取代核能，而是理性、公平的使用清潔能源。

G20 漢堡高峰會的氣候領導時代

文・編輯室



▲由德國總理梅克爾主導的 G20，各重要國家領袖齊聚一堂（圖：維基百科）



20 國集團（G20）的第 12 次高峰會，於 2017 年 7 月 7 日到 7 月 8 日在德國漢堡舉行，與會的成員國將尋求氣候保護共識。事實上，依據「德國觀察（Germanwatch）」與「新氣候（New Climate）」兩個環保研究組織所發表的一項研究報告，G20 中的任何一個國家都未能實施有效策略，以達成巴黎氣候協議所訂立的氣候目標，甚至有些國家在改善策略上仍屬落後。

若以環境保護指數進行評比，德國因持續龐大的煤炭使用量排名在義大利、巴西與法國之後，位居第 4 位。美國與沙烏地阿拉伯則排名墊底。

2015 年在巴黎舉行的聯合國氣候大會曾達成協議，期望減緩全球暖化速度，控制全球升溫在低於攝氏 2 度以下。但 G20 的參與者要達成此目標還有一段努力空間，僅有少數工業國家如義大利、法國與德國；新興經濟體如巴西與印度有提出大概的實施方案。德國於 2010 年至 2014 年間，因風力與太陽能光電等產業的高成長率，在國際氣候政策上取得較佳的評比。但是同時，對火力發電廠的使用仍然過大，也影響其排名晉升。

許多環境保護相關組織聯合呼籲，G20 參與國必須正視自身對全球環境永續發展的責任。可預期的，未來將因美國總統川普拒絕簽署巴黎氣候協議而可能再次引發爭論。

美國自廢武功 退出主導全球勢力競賽

2016 年初，美國還被公認為最有資格領導全球對抗氣候變遷。身為 2017 年 20 國集團領袖高峰會的主席，德國總理梅克爾一直期望美國能協助推動全球經濟的徹底轉型。即使在川普贏得美國總統大選之後，梅克爾仍然對他使用「無罪推定」概念，抱持著一線希望，期待美國或許可以在降低全球溫室氣體排放方面發揮領導功能。

但是，梅克爾和川普首次面對面的會晤卻沒有發表任何實質的聲明，而且他們的肢體語言顯示未來雙方的對話並不樂觀。川普的口號「美國優先」似乎意味著「只考慮美國」。

透過否定前任總統的二氧化碳減排政策，



▲美國總統川普在能源大會上發表演說，能源部長佩里鼓掌讚揚（圖片：Simon Edelman/ 美國能源部）

川普推翻了 2015 年巴黎氣候協議所實現的全球合作治理新模式。簽署此協議的國家已承諾分擔全球經濟與技術轉型的風險，並共享由此而來的利益。

川普的氣候變遷政策對美國和世界而言絕非好的徵兆，許多美國民眾正在動員抵制川普內閣，而世界上其他國家仍將持續推動有彈性的低碳系統。已開發國家與開發中國家公共與民營部門的眾多參與者，已使得能源政策轉型成為必然，而且他們的進度絕不會因為美國新政府的反復無常而改變。中國、印度、歐盟以及許多非洲與拉丁美洲國家都開始採用清潔能源系統。

只要這種現狀得以持續，企業、當地政府和其他利益團體才能繼續推行低碳戰略。可以肯定的是，無論是在國內還是國外，川普的政策可能帶來新的風險和成本，但他將無法成功的延長化石燃料時代。

美國退出巴黎氣候協議仍然是相當具有威脅性的行動，如此重要的參與者缺席氣候變遷之戰，將有可能破壞新形式的多邊主義。不過，因退出在全球所引發的譴責聲浪，反而意外的展現了保護氣候的新活力。

更加迫在眉睫的是，川普政府引發了重大的金融風險，有可能阻礙應對氣候變遷的工作。川普提出的預算將限制對清潔能源開發和氣候研究的聯邦資助。同樣，他近期的行政命令將最大限度地壓縮了美國企業碳足跡的財務成本，因為他改變了「碳社會成本（Social Cost of Carbon，為每排放 1 公噸二氧化碳所造成的經濟損害或影響）」的計算方式；而且，川普內閣堅持應當將巴黎協議對抗氣候變遷的部份從 G20 財政部長聯合聲明中刪除。

正如聯合國秘書長古特瑞斯（Antonio Guterres）不久前曾提出的警告，這些不明智的決策對美國經濟與全球穩定都將造成嚴重的影響。美國金融系統在世界經濟中發揮主導的功能，而川普卻希望將大家帶回投資者與公眾在決策時毫不考慮氣候變遷風險的那個古早時代。

當馬克宏遇上川普



▲法國總統馬克宏（圖：維基百科）

新官上任的法國總統馬克宏，在大選期間有一段對美國氣候變遷學家喊話的影像檔在臉書上不斷被分享、按讚。馬克宏表示：「我的確知道你們的新總統現在已經決定要危害你們的預算和你們的倡議，以及他極度質疑氣候變遷，我對氣候變遷則沒有任何的懷疑。」

馬克宏接著承諾會提供充分的經費給氣候變遷研究。他說：「請來法國，你們是受歡迎的。…我們想要有創新精神的人。」

因此，當美國總統川普 6 月 1 日正式宣布退出巴黎氣候協議時，馬克宏罕見的以英語發表演說，指出川普此為錯誤之舉，並矢言要讓「地球再度偉大」。法國政府現在使用這個口號創設了一個網站(www.makeourplanetgreatagain.fr)，公開喊話：「地球需要你的創新技能，你願意加入來(認真地)改變我們日常的生活，讓我們的地球再度偉大嗎？」以此招募全球氣候變遷學者、研究生與相關人士前往法國居住，持續研究或接受指導，並獲得全額資助。這個網站也提供移居法國所需的工作簽證或居留許可等申請資訊。除了從事氣候變遷研究的學者、老師和學生可以去法國居留外，企業人士與非政府組織的領袖也可以向法國政府申請補助。

法國、印度攜手對抗氣候變遷

川普宣布美國將退出巴黎氣候協議之際，法國總統馬克宏與印度總理穆迪 6 月 3 日共同表示，兩國將攜手對抗全球氣候變遷問題。穆迪在巴黎舉行的聯合新聞發布會上說：「保護環境和地球是一種信念。」這是兩位領導人首次會面，他們並未向媒體透露與此相關的協議或行動的具體內容。印度至今仍是世界第三大空氣污染物排放國。

馬克宏則表示：「我們都深信，我們的國家在改善生態環境，以及對抗全球暖化的問題上，還有許多事情要做。」他強調，法國還將做出比巴黎氣候協議承諾更多的貢獻。

東南亞空氣污染死亡人數可能增加 3 倍

根據哈佛大學所支持的一份研究報告所公布的數據顯示，預計到 2030 年，東南亞的碳排放量將增加為 2011 年的 3 倍，導致與污染相關的死亡人數增加。哈佛大學和綠色和平（Greenpeace）組織的研究人員表示，東南亞的電力需求預計在 2011 年和 2035 年之間將增長 83%，是全球平均水平的 2 倍。哈佛大學的首席研究員科普立茲（Shannon Koplitz），在聲明中說：「中國和印度的空氣污染已經受到了很多科學方面的關注。」

該研究認為經濟發展、人口增長和城市移民是能源需求快速飆升的主要原因，並指出在東南亞這些需求仍可能藉由不斷的擴大燃煤發電廠來供應，而不像美國、歐洲有一部分是

用再生能源來滿足。

研究指出，空氣污染的後果是嚴重的。科普立茲說：「東南亞新興國家燃燒的煤炭，將對空氣品質和公共健康產生重大而持久的影響。」研究報告估計，該地區每年約有 2 萬人死於燃煤電廠的排放污染，如果該地區所有預定的電廠計畫都如期進行，在 2030 年前，每年死亡人數將增加到 7 萬人。

美國退出氣候協議 二氧化碳年增 30 億噸

科學家預估，美國若退出巴黎氣候協議，二氧化碳年增量將多達 30 億噸，若年復一年如此，冰層融化得更加迅速、海平面升得更高都將引發更多極端氣候。美國普林斯頓大學氣候科學家歐彭希梅爾（Michael Oppenheimer）直言，「如果我們退出了，問題都來了。」

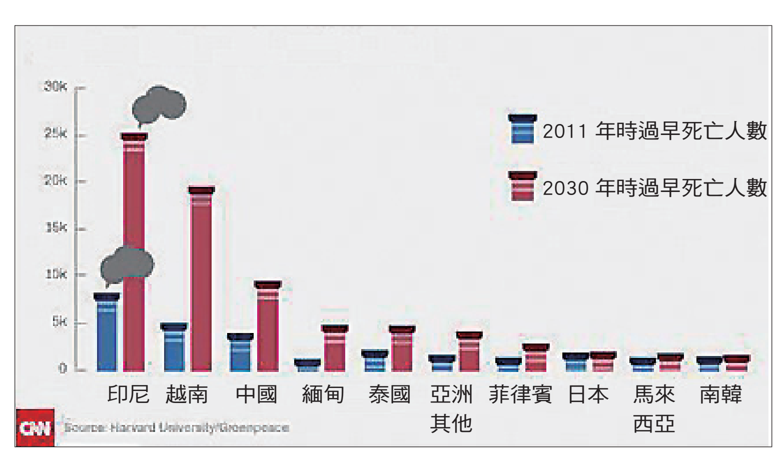
不過也有諸多意見認為，在美國價格便宜的天然氣取代了煤炭，加上再生能源的使用率增加，就算川普放棄氣候協議，美國也不會停止減少碳排放的行動。

始終否認有全球暖化這回事的川普在去年競選時就提出，他要復興美國的石油和燃煤產業。川普說：「我當選是代表匹茲堡民眾，而不是代表巴黎，我承諾會退出或者重新談判任何不符合美國利益的交易，許多貿易協議很快都將會重啟談判。」反對者認為，美國退出巴黎氣候協議等於是放棄了全球變遷領導者的角色。歐洲主要國家領袖紛紛回應表示，氣候協議不可能重新談判，並強調即使美國退出，他們仍將繼續致力對抗全球暖化。

美參議員呼籲 2050 年全面淘汰化石燃料

美國 3 位參議員默克利（Jeff Merkley）、桑德斯（Bernie Sanders）與馬基（Ed Markey）表示，將在國會提出於 2050 年全面淘汰化石燃料的法案。「2050 年 100% 潔淨能源」這項法案提出了相當大膽的概念，有助於風力與太陽能等潔淨能源取代石油、煤炭與天然氣時，將可協助工人並優先照顧低收入的社區。

國際知名環保組織「350.org」的共同創



▲東亞地區每年死於燃煤發電排放人數估計（來源：哈佛大學 / 綠色和平組織）

辦人麥基本（Bill McKibben）說明，這個法案中的 100 是一個相當重要的數字，眼前侵蝕性的氣候顯然非常嚴重，這項法案最終將約束美國承擔起技術革新的責任，使能源轉型成為可能，並且是負擔得起的。國會可能不會立即通過這項法案，但是化石燃料產業將會看見，這項法案可以從根本改變人們的觀點。

350.org 執行董事波依芙（May Boeve）說：「儘管擁護化石燃料的億萬富翁們支持川普的行政團隊，將利潤放在人們面前、吸引他們；我們現在有一個立法的路線圖，可一勞永逸地淘汰這個骯髒的行業。」這項法案將在最需要的社區中設置清潔能源，並將化石燃料保留在地底下。

為了取代現有的化石燃料設施，這項法案規劃每年投資興建數百億美元的清潔能源設施，可創造 400 萬個工作機會。這些大規模的清潔能源投資將優先考慮「黑色、棕色膚色與低收入這些處於氣候危機前線的區域」。

4 月 29 日的「全民守護氣候大遊行」中有一大群支持者高舉「全面推動 100% 潔淨能源」與「讓化石能源永遠埋在地下」等橫幅與手舉標語，以展示活動參與者的決心。整個活動為期一週，有數千人聚集於首都華盛頓特區與美國各地遊行，以追求工作機會、公平正義與守護氣候為主要訴求。

結語

前聯合國氣候變遷部長菲格雷斯（Christiana Figueres）呼籲，減緩氣候變遷已經不能再等，2020 年是氣候變遷的重要關鍵年，全世界應採取行動，減少溫室氣體的排放，把握一去不返的時機，以減緩最嚴峻的氣候變遷衝擊。

現在，G20 絕對不能在如此嚴峻的挑戰之前退縮，必須仰賴梅克爾和其他 G20 的領袖，挺住美國與沙烏地阿拉伯施加的壓力，並堅持推展氣候保護行動。其他國家的領袖也有義務對川普採取一致的態度與對策，並繼續推動、建立可與各種金融體系相容的新模式。

現在雖然是個困難的時刻，但是我們還有機會思考希望建設出什麼樣的未來，決定自己生活在什麼樣的世界中。

參考資料：

1.https://www.dois.moea.gov.tw/doisbin/qd_fdr.exe?STARTPRO=../bin/news.pro&template=display&flag=main&num_DATA_SINGLE=1060706225554
2.www.makeourplanetgreatagain.fr
3.http://energypost.eu/10-energy-surprises-2017/
4.https://www.project-syndicate.org/commentary/g20-climate-change-in-trump-era-by-teresa-ribera-2017-04
5.http://news.cnyes.com/news/id/3858150
6.http://www.sustainablebrands.com/news_and_views/leadership/libby_maccarthy/leading_business_climate_experts_identify_2020_deadline_mi
7.https://www.ecowatch.com/clean-energy-bill-merkley-sanders-markey-2381516585.html
8.http://www.csronereporting.com/topic_4010

能源價格調漲
消費者荷包大失血

文・編輯室



▲位於英國林肯郡洛斯附近的太陽能發電站與風力發電場（攝影：Paul Glendell / Alamy）

美國：未來兩年能源價格將調漲

美國聯邦預報員說，今年（2017）的汽油、天然氣和電力價格將比去年更高，甚至在未來幾年美國民眾都必須支付更多費用。這些都是平均價格的上漲，它也提醒我們，能源價格沒辦法永遠這麼便宜。

根據美國能源資訊局（Energy Information Agency, EIA）於今年 2 月初所發布的短期能源展望（Short-Term Energy Outlook），美國原

油產量預計2017年時平均每天達到900萬桶，2018年為每天950萬桶。今年及明年度美國平均汽油價格每加侖將為2.39及2.44美元(約介於72-75元新台幣)，接近2015年的平均價格，但每加侖仍然低於2012至2014年的平均價格至少1美元。

未來影響汽油成本的主要因素有兩個，第一為美國頁岩油的生產者與石油輸出國組織(OPEC)會員國之間的角力競賽，OPEC會員國可透過增減產來控制原油價格，進而影響美國頁岩油的生產者。第二為全球的經濟表現對於能源的供需狀況也有相當程度的影響。

至於天然氣的部分，今明年度的產量預測都呈現成長趨勢，其中一個主要的原因為天然氣電廠的完工與出口碼頭的增加，連帶推升天然氣的價格。而今年度天然氣現貨價格每立方英尺預計將增加1美元，2017及2018的平均價格每立方英尺將來到3.54及3.81美元(約介於105-115元新台幣)。在美國能源資訊局的預測下，雖然未來兩年不會像過去發生的飆漲情形，能源價格只會有小幅度的上漲，但這也提醒民眾要有心理準備，便宜的能源價格已不復見。

俄亥俄州的電力價格又是另一個故事，美國兩家最大的公用事業公司第一能源公司(FirstEnergy)與美國電力公司(American Electric Power)正在積極進行遊說，試圖勸說國會的立法者修改國家的「16年解除管制」規訂，讓消費者有能力可以購買不同供應商的電力。而這兩家公司也設法提高送電部分的價格。

能源資訊局預計今年美國家用電價平均每度為12.93美分(約3.88元新台幣)，而2018年則為每度13.24美分(約3.97元新台幣)。

英國將調漲家用電費100英磅

根據英國政府顧問的說法，未來10年英國每戶將平均支出近100英磅(約4,000元新台幣)能源費用，來支持新風力電廠與核電廠，以達成降低碳排量的目標。然而氣候變遷委員會指出，預計每戶藉由轉換使用高效率電冰箱、LED燈泡及鍋爐所節省的費用，可以抵銷這些增加的費用。

根據氣候變遷法而組成的委員會發現，2016年靠著節能政策，每戶的平均瓦斯費加電費開銷是1,160英鎊，成長了9%。這包含風機及太陽能計畫的補助。氣候變遷報導預測，為了達到減碳目標，2030年的平均瓦斯費加上電費將達1,350英磅，而政府補助金額則上升至200英磅。

然而，其他因素將持續造成電費成長。該委員會也推算出，批發能源成本等問題每年將增加超過200英鎊的支出，而持續更換節能的家電和設備預計將節省150英鎊。該委員會執行長貝爾(Matthew Bell)表示，把錢用於氣候政策是值得的，「我們為減少二氧化碳排放而採取行動的原因，正是氣候變遷將對英國和世界各地帶來的危機。」

全球6大能源供應商，有5家已經宣布冬季價格將會上漲。一些能源供應商如德國的意昂(E.ON)公司把部分能源費用上漲歸咎於綠色環保政策。事實上，氣候變遷委員會指出，政府鼓勵使用額定功率冰箱、冷凝式鍋爐以及汰換白熾燈泡改用省電燈泡這些政策，在2008至2016年間為每戶平均省下290英磅的支出。貝爾指出，目前只有1%的照明系統轉換成LED，並且未考量使用資訊科技(IT)來管理家庭中的能源。雖然未來電器效率成長將會逐步減緩，他仍深信這部分是最具節能潛力的。

委員會提到，英國住家能源費用與歐洲其他國家相比並不算高。英國家用電費低於歐洲的平均值，而天然氣價格是在 15 個歐盟國家中排名第三低。儘管英國政府最近宣布檢視商業能源費用，但委員會指出，英國企業競爭力並沒有因為氣候政策增加的一點成本而造成影響。

世界自然基金會（World Wide Fund for Nature, WWF）能源專家威廉斯（Rebecca Williams）認為，根據委員會的數據顯示，能源供應商不應該將能源費用上漲全怪罪於英國政府的環保政策，報告顯示費用高漲的主因是來自於化石燃料成本的增加。

澳洲：能源價格高漲將導致產業外流

澳洲工業集團（Australian Industry Group）警告，由於天然氣價格上揚，導致澳洲的家庭和企業面臨驚人的高能源成本，支出將持續增加，使得民生與產業均受到威脅。

此集團提出一份報告指出，天然氣市場



▲根據一份新的報告，澳洲家庭和企業的電價大約翻漲一倍（攝影：Mark Kolbe / Getty Images）

的複雜性加上燃煤發電量的下降，形成一場對消費者的「完美風暴」，並憂心去年飆升的電價將成為「新的常態」。批發電價大約翻漲了一倍，燃氣與電力的價格將使全國家庭每年額外支出 36 億美元，企業更高達 87 億美元，相當於每戶家庭電費增加約 500 美元（約 15,250 元新台幣），許多中小型企業的電費約達 10 萬美元（約 305 萬元新台幣）。

澳洲工業集團調查了全國 285 家公司，其中幾家公司報告指出，其能源成本在 2016 年增長了兩倍。集團執行長威爾寇克斯（Innes Wilcox）表示，電價上漲將導致一些製造商擔憂自己的生存能力，而考慮將產業移至海外。

根據此報告，天然氣市場是價格上升背後的主要原因。報告說：「天然氣價格高漲及其持續上漲的趨勢，意味著現有的天然氣發電機組將顯得更昂貴。電力市場的設計讓天然氣發電訂價通常取決於整體市場價格。使用越來越昂貴的燃料運轉發電，便會轉化為越來越高的平均價格。」

天然氣日益重要的一個原因是再生能源的增加和缺乏靈活性，以及燃煤發電量的下降。報告中表示，從長期來看，市場力量和氣候目標很可能使燃煤發電，最終甚至是天然氣發電皆不可行，並促進大量再生能源的使用。大量的再生能源可能讓成本下降，並取代化石燃料，然而，再生能源的不穩定性仍存在著許多問題，需要找出低成本的方法將豐沛的能源轉換為可靠的電力來源。報告建議更好的儲能裝置可以穩定系統，而在技術與地理上多樣化的來源可以減少不穩定供電的影響。

此外，造成澳洲電力價格激增的原因是建立天然氣出口站的政策造成國內市場供應短缺，並使得國際液化天然氣買家支付比澳洲國內天然氣買家更低的價格。為了補救這些問題，報告建議擬訂政策鼓勵開發新的天然氣田和更具節能效果的家用電器，以緩解供需壓力；並建議可在東岸建立液化天然氣進口站，使得供應商可於國際市場購買天然氣，將更低的價格轉給消費者，但這將會花費數億美元，其成本還是將由消費者買單。

參考資料：

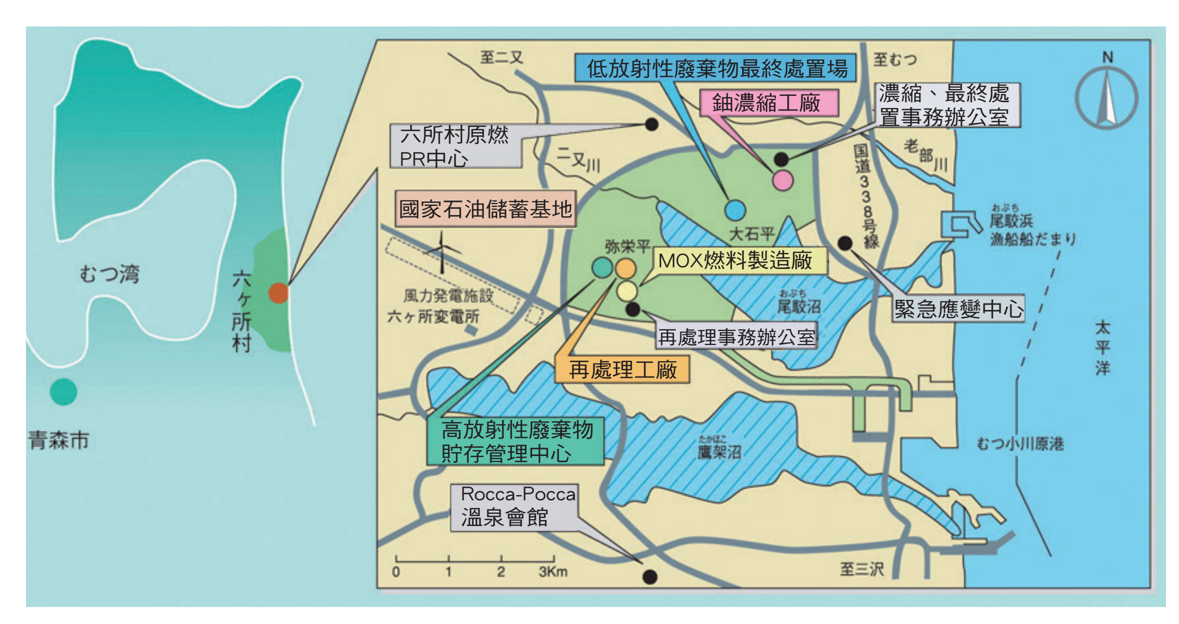
1.http://www.cleveland.com/business/index.ssf/2017/02/energy_prices_expected_to_cree.html

2.https://www.theguardian.com/business/2017/mar/16/uk-climate-targets-will-raise-household-energy-bills-by-100-in-a-decade

3.https://www.theguardian.com/business/2017/feb/28/high-energy-bills-here-to-stay-but-jobs-heading-overseas-industry-group-warns

日本放射性廢棄物 **處置現況**

文・編輯室



▲六所村場址內設施分布圖（圖片來源：日本原燃）

位於日本本州最北端青森縣的六所村，因為土壤貧瘠、冬季時間長且伴隨大量降雪，無法種植作物，早期主要靠漁業為生。1960年代日本政府原計畫將該區域規劃為石油工業區，設置容量可供全日本超過一週之用的戰備石油槽，但之後隨著石油危機的紓解，國家亦欲發展核能發電，加上該地區的岩盤穩固、地質合適，鄰近港口具備海上運輸功能，在當地居民同意下今日已發展成為日本不可缺的核工業重鎮。而除了日本重要核燃料循環相關設施與石油儲備基地均設於此地之外，還有數座風力發電廠等再生能源設備，可謂日本的「能源之村」。

在六所村內由日本原燃有限公司（JNFL）所建立的「原燃園區」，占地超過 700 公頃，相關建築物共有約 30 棟，大型核子設施包含用過核燃料再處理工廠、高放射性廢棄物貯存管理中心、MOX 燃料加工廠、鈾濃縮工廠以

及低放射性廢棄物最終處置場。除此之外，身為由歐盟、日本、韓國、中國、美國、印度、蘇聯（今俄羅斯）一同出資運轉、造價不斐的國際核融合實驗爐（ITER）的唯二預備場址，雖然最終歐盟在 2005 年時決定將該實驗爐建造於另一預備場址的法國核子研究中心卡達拉舍（Cadarache），這也是六所村在國際核工業間小有名聲的另一個原因。

日本原燃有限公司

負責六所村一系列核子相關設施營運的日本原燃有限公司（Japan Nuclear Fuel Limited，「原」指原子能，即核能，「燃」則是指燃料，簡稱「日本原燃」），是由日本 9 間大型核電公司（東京電力、關西電力、中部電力等）、日本原子力發電有限公司以及其他 74 間企業，於 1980 年合資組成的核燃料循環企業，原名為日本原燃服務有限公司，與日本原燃產業有限公司合併後在 1992 年更名為「日本原燃」，至今資本額高達 4,000 億日圓（目前已實收近 3,000 億日圓）；旗下員工超過 2,500 名，其中有超過 6 成為青森縣當地居民。

日本原燃主要負責的業務分為 5 大類，分別為濃縮（鈾濃縮）、掩埋（低放射性廢棄物的最終處置）、再處理（核電廠所生產用過核燃料的再處理）、廢棄物管理（海外再處理所回收的燃料、物質，以及廢棄物的暫時保管）以及混合氧化燃料製造，另外還包含鈾、

日本原燃 5 大核燃料循環設施

設施	地點	規模	工期	建設所需費用
鈾濃縮工廠	青森縣上北郡 六所村大石平地區	開始商轉為 150 噸 SWU/ 年 最終預計達到 1,500 噸 SWU/ 年	1988 年開工 1992 年商轉	約 2,500 億日圓
低放射性廢棄物最終處置場	青森縣上北郡 六所村大石平地區	2 座處置場，約 8 萬立方公尺（200 公升貯存罐 40 萬罐） 最終預計達到 60 萬立方公尺（300 萬罐）	1990 年開工 1992 年商轉	約 1,600 億日圓（僅為 20 萬立方公尺貯存空間之建設經費）
再處理工廠	青森縣上北郡 六所村弥栄平地區	最大處理能力：800 噸鈾 / 年 用過核燃料貯存量：3,000 噸鈾	1993 年開工 預計於 2018 年財政年度上半年竣工	約 2 兆 1,930 億日圓
高放射性廢棄物貯存管理中心	青森縣上北郡 六所村弥栄平地區	自英法歸還的玻璃固化體 2,880 罐	1992 年開工 1995 年商轉	約 1,250 億日圓
MOX 燃料製造廠	青森縣上北郡六所村弥栄平地區	最大製造能力：130 噸重金屬 / 年 製品：國內輕水式反應爐（沸水式、壓水式）用 MOX 燃料集合體	2010 年開工 預計於 2019 年財政年度上半年竣工	約 2,100 億日圓

低放射性廢棄物、用過核燃料等的運輸，以及與上述各項附帶關聯之事務等，主要著重在核能「後端」方面的營運。

鈾濃縮工廠

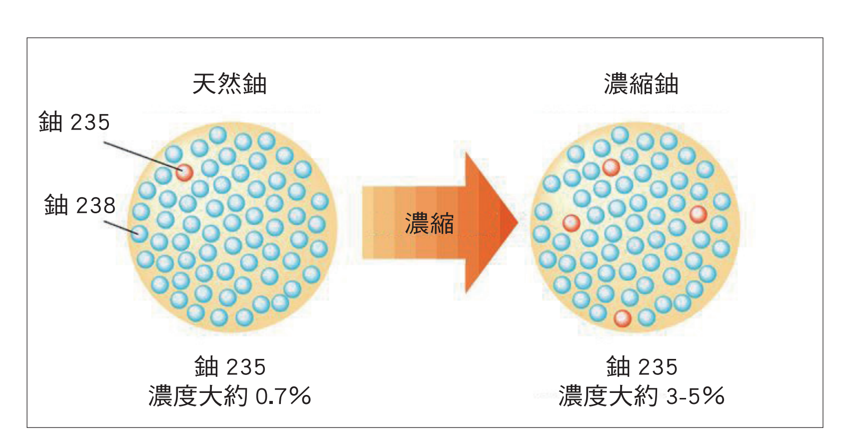
天然鈾主要由鈾 235 和鈾 238 所組成，當中子撞擊鈾 235 時會因核分裂而產生大量的能量，鈾 238 則較不易有核分裂的情形。天然鈾因僅含有少量（約 0.7%）的鈾 235，必須使用特殊方法來加以濃縮，將其百分比提高至 3-5% 才可以供輕水式反應爐作燃料使用。而日本原燃所採用的濃縮方法「遠心分離法」，是利用鈾 235 以及鈾 238 重量不同的原理，使用日本原燃所研發的高速離心機將兩種鈾分離。重量較重的鈾 238 在高速旋轉下會偏至外圍，留在內緣的鈾 235 則引進下一座離心機，如此反覆作業至鈾 235 的濃度達到預定標準為止，濃度最高則不可超過 5%。

六所村的鈾濃縮廠自 1992 年初正式開始運轉，最初的處理能力僅有每年 150 噸分離功單位（SWU/year，SWU 為 Separate Work Unit 的縮寫），目前已提升至每年 1,050 噸分離功單位，截至 2017 年已完成總共近 1,700 噸鈾的濃縮，並運送至三菱核燃料製造工廠來製

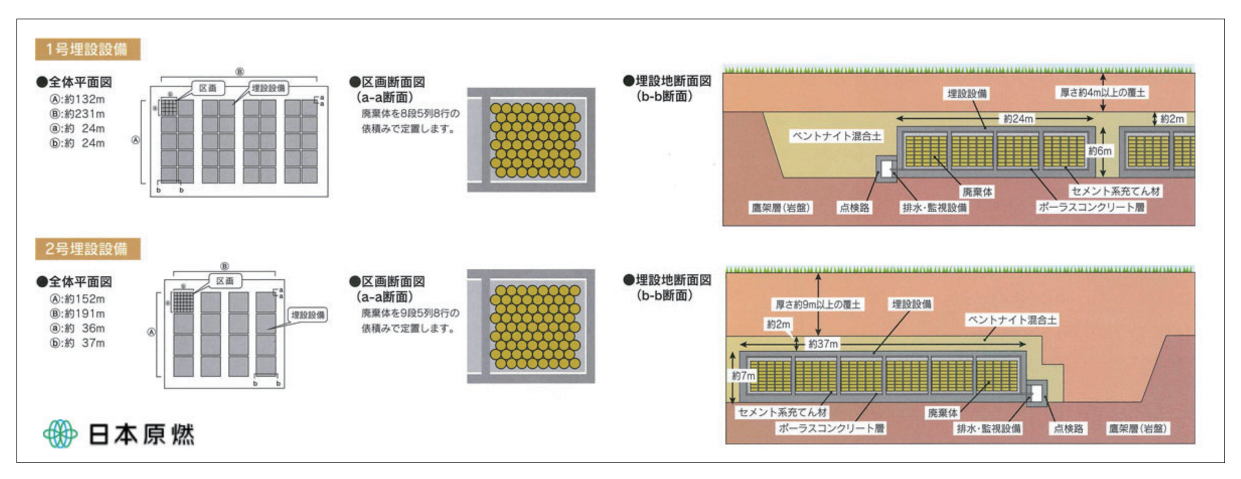


▲六所村 5 大核子設施在日本核燃料循環中的位置（圖片來源：六所村公所）

作發電用反應爐所使用的燃料束。身為日本鈾濃縮運轉執照的唯一持有者，日本原燃期望最終能將處理能力擴充至每年 1,500 噸分離功單位，可滿足日本 1/3 核電廠的燃料使用需求。日本原燃自 2000 年即開始著手研究、開發新型離心機，在陸續地進行試運轉後分階段引進廠內各部離心機機組，來提高處理能力至預計規模。



▲天然鈾轉變為濃縮鈾的原理（圖片來源：日本原燃）



▲六所村低放廢棄物 2 座最終處置設施整體平面圖（左）、單一處置坑切面圖（中）、部分設施切面圖（右）（圖片來源：日本原燃）

低放射性廢棄物最終處置設施

日本將低放射性廢棄物（LLW）依照其放射性程度由低至高分為 4 種，分別為放射性極低（L3）、放射性較低（L2）、放射性較高（L1）之放射性廢棄物，以及較特殊的超鈾（TRU）廢棄物。這些放射性廢棄物會因為放射性程度的高低而採取不同的處置方式，放射性極低的廢棄物只需在地面開挖溝渠（Trench）直接作最終處置即可，廢棄物外圍也不需要工程障壁；放射性較低的廢棄物則需放在比極低放射性廢棄物稍微深一點的地下窖式處置設施（Pit）。至於放射性較高的低放廢棄物需貯存在地下深 50-100 公尺處；超鈾廢棄物因為含有多種壽命較長的放射性核種，與高放射性廢棄物相同，必須放在地下超過 300 公尺處才可作最終處置。

日本原燃負責接收由核電廠運轉過程所生產的放射性較低之廢棄物（L2），這類低放廢棄物含有放射性壽命較短的核種（如鈷 60，半衰期僅約 5 年），日本原燃針對此種等級的放射性廢棄物目前設有兩座水泥窖式處置設施。1 號處置場接收的廢棄物為由濃縮廢液、廢樹脂以及廢棄物焚化後剩下的爐灰，混入水泥、瀝青所固化的廢棄物罐。至於金屬、塑膠、過濾器等無法焚燒的固體，經由壓縮、切割、溶融處理後混入水泥填料進行固化的廢棄物罐，則送至 2 號處置場。

裝有放射性廢棄物的廢棄物罐會先用海運的方式送至港口，再用卡車運送至六所村低放最終處置場。入場前會再次進行檢測，並用吊車將廢棄物罐堆疊在處置坑內。1 號處置場每個處置坑（長寬高均 6 公尺）可橫放每排 8 個、共 5 排 8 層的 200 公升廢棄物罐，整個處置場長 231 公尺、寬 132 公尺，640 個處置坑可處置超過 20 萬罐的廢棄物，容量約 4 萬立方公尺。2 號處置場的處置坑（長寬高均大約 6 公尺）則可放置每排 8 個、共 5 排 9 層的廢棄物罐。處置場長寬分別為 191、152 公尺，將近 600 個處置坑，處置容量也是約 20 萬罐。截至 2017 年 6 月，日本原燃已接收近 30 萬罐的較低放射性廢棄物。

處置坑待儲滿後將灌入水泥把坑內空隙填滿，並於處置設施外圍覆上混凝土密封，之後將膨潤土混入砂石、再加上一層防水性高的

土壤回填，即完成整座處置設施的掩埋，恢復地表高度並種植植被綠化，開始為期 300 年的監管，確保放射性物質不會外洩；期間即使有降雨，也會自設施外圍混凝土層的排水孔中流出，不會滲入影響廢棄物的處置。

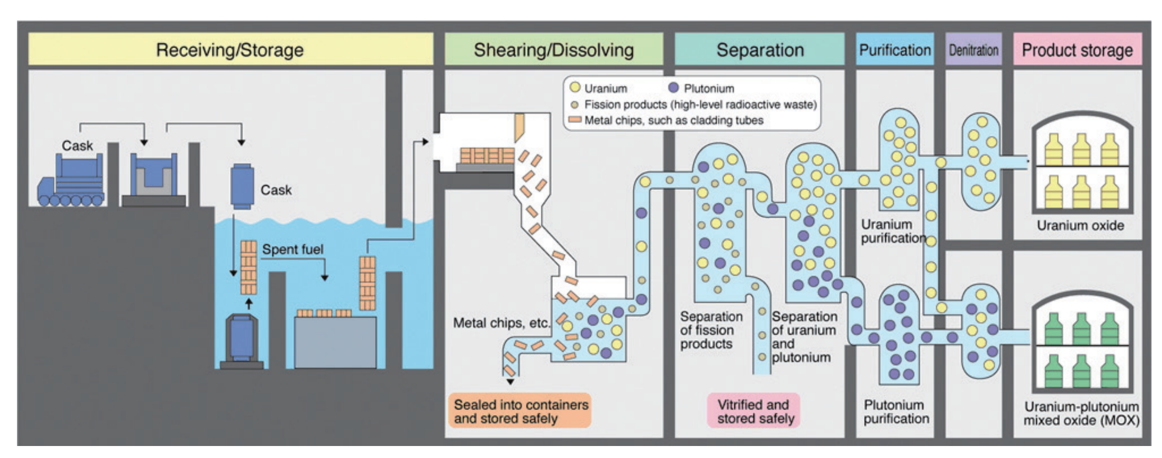
用過核燃料再處理工廠

核能和石油、天然氣等能源燃燒完就無法再使用不同，核燃料可透過再處理的方式重複使用，而日本因為缺乏自產能源，對國內唯一的這座再處理廠格外重視。大部分核電廠內所使用的輕水式反應爐，能量的來源主要是核燃料裡面的鈾 235，燃料內另外的鈾 238 在吸收中子後其中一部份會轉換成鈽，再處理的過程即是把用過核燃料理面未燃耗的鈾 235 以及鈽抽取出來，重新製造核燃料或混合氧化物燃料（MOX fuel），達到循環再利用，亦減少用過核燃料體積的目標。

來自各核電廠的用過核燃料，在抵達再處理廠後會先拆除其外圍的護箱，使用濕式貯存的方式在廠內的燃料貯存池中放置一段時間來降低溫度。待用過核燃料完成冷卻後使用機器將其裁切成小塊，放入硝酸中溶解，此舉也會將燃料束無法溶於硝酸的金屬外殼過濾出來。溶解的用過核燃料分成兩類，分別為因核分裂反應而產生的核分裂產物（即高放射性廢棄物），以及溶解的鈾與鈽。核分裂產物會使用玻璃固化的方式將其安全貯存，溶解的鈾與鈽混合液體則會透過純化過程分離，並將其分別自硝酸中脫硝，最後把產生的「純鈾氧化物（Uranium oxide）」以及「鈾鈽混合氧化物（Uranium-plutonium mixed oxide，即 MOX）」放入特殊容器中貯存，完成用過核燃料再處理流程。由於鈽為製造核武的重要元素，六所村的再處理過程受到國際原子能總署（IAEA）派駐於此的專員 24 小時嚴格監控，確保日本遵守原子能的和平運用。

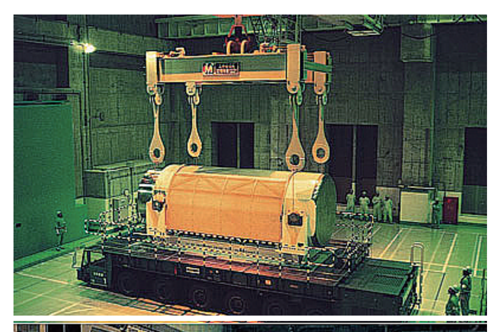
日本原燃自 1993 年即開始該座再處理廠的建設工程，中間遇到各種困難導致時程表不斷延後，在完成各種檢測與試驗後目前已在工程的最終試運轉階段。日本原燃預計在 2018 年上半年完成這座每年可處理 800 噸鈾規模的再處理廠，足夠處理 40 座 100 萬瓩核電機組所產生的用過核燃料。

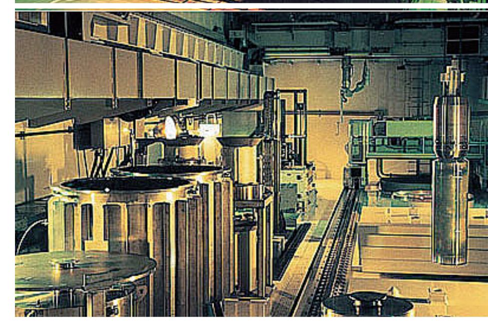
高放射性廢棄物貯存管理中心

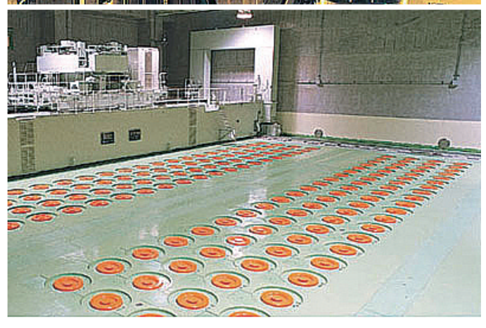


▲六所村用過核燃料再處理過程（圖片來源：日本原燃）

日本早期因尚未發展再處理事業，當時的用過核燃料均委託英國與法國進行再處理，所有過程中產生、餘留的高、低放射性廢棄物，根據合約必須以玻璃固化的方式一同送回日本，由日本電力公司負責其貯存以及最終處置。其中含有半衰期較長核分裂產物的放射性廢棄物，在此處放置 30-50 年進行冷卻後必須送往地下超過 300 公尺深的深層地質處置場作最終處置，六所村再處理廠產生的放射性廢棄物也相同。由於日本目前尚未確立任何深層地質處置場的建設，廢棄物於此地集中貯存也給予電力公司一些緩衝的時間，待日本深層地質處置場建設完成後再送往處置。







▲六所村高放射性廢棄物貯存管理中心在收到運輸護箱（上）後會將其中的玻璃固化廢棄物罐吊出，進行多項檢測（中），符合標準的才可放入貯存區中貯存（下）。（圖片來源：日本原燃）

從再處理過程所產生的廢液經由玻璃固化後裝入不銹鋼罐，使用焊接密封、裝入運輸護箱後才可進行運送。護箱抵達貯存管理中心時會先在接收區以吊車將其卸下，使用專用搬運台車送至檢查區，再將鋼罐吊出進行多項檢測，符合標準的才可放入地下貯存區貯存，利用空氣自然對流的原理來帶走鋼罐所釋放出來的熱能，整個過程都是使用遠端遙控來執行。

六所村高放射性廢棄物貯存管理中心從 1995 年即開始接收自海外歸還的玻璃固化廢棄物，目前已接收了約 1,800 罐，整個貯存區總共可容納 2,880 罐的玻璃固化廢棄物。

混合氧化（MOX）燃料製造廠

製造 MOX 燃料需先將鈾、鈽的粉末以 1：1 的比例混合，加入粉狀二氧化鈾使其中的鈽達到所需的濃度，以特殊機器將混合粉末壓製成圓柱狀的燃料丸，再使用高溫燒結後放入鋯合金的套管內，陸續經過焊接密封、製成燃料束、完成檢測後就可以送至核電廠，供輕水式反應爐作為燃料來發電。

由於 MOX 燃料是使用再處理廠所產生的鈾與鈽來製造，六所村 MOX 燃料製造廠的製造規模與自再處理廠所生產的鈾、鈽數量相匹配，確保所有自再處理廠回收的鈽都可在整個循環中確實的被使用到。

日本原燃從 2000 年時即開始對建造 MOX 燃料製造廠進行規劃，於 2010 年下半年開工，主建屋為長寬均 85 公尺、地下 3 層、地上 2 層的建築物，預計 2019 年上半年竣工。根據日本原燃的估計，未來六所村 MOX 燃料



▲六所村原燃 PR 中心（圖片來源：青森縣觀光情報網）

製造廠 1 年生產的 MOX 燃料，即可提供整個青森縣 4-5 年的電力使用。

不同於一般的核燃料製造廠，MOX 燃料因為含有放射性極高的鈽，整個操作過程都必須在密閉且有負壓之設備中進行，控管嚴格，以保護廠區工作人員的安全。

原子力防災廣場

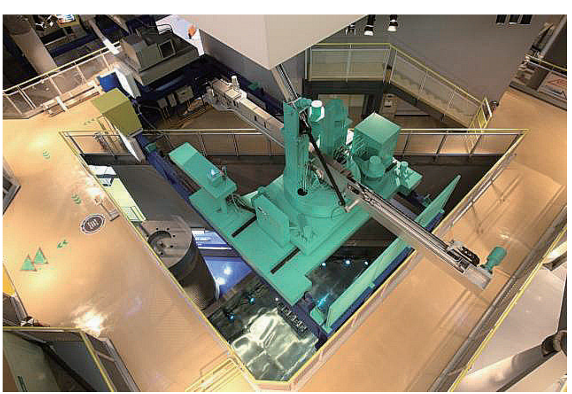
為了符合日本原子力相關法規，日本原燃在六所村亦設有緊急應變中心（主要針對再處理廠），作為發生核子事故時供地方政府、中央政府、經營者以及支援單位的緊急應變場所，同時也設有防災技術中心。根據日本法規規定，廠外緊急應變中心距離核子設施不得超過 20 公里，建築物面積不可小於 800 平方公尺，六所村的緊急應變中心內設有完整的通訊器材、會議室、除汙間、休息區以及浴室等設備，還具備可執行輻射監測的機器人、車輛，以及環境監測實驗室等，較一般核電廠的緊急應變中心特別。

原燃 PR 中心

為了使用簡單明瞭的方式來讓民眾了解核能發電、六所村核燃料循環設施的運作方式以及會不會對周遭環境造成危害等，日本原燃在當地建造了一座「六所村原燃 PR 中心」，為地下 1 層、地上 3 層的展示館。在 1 樓與地下 1 樓可以看到六所村各座大型核燃料設施的介紹與模擬操作，像是再處理用過核燃料的過程、將鈾與鈽自用過核燃料中分離出來的方法、鈾濃縮工廠中遠心分離機的使用、低放射性廢棄物最終處置概念的介紹，以及周圍環境的監測、水與農作物的抽樣調查等，講述環境監管的重要性。

中心的 2 樓則是和「地球環境與能源」以及「輻射」相關的教學與遊戲，利用 3D 動





▲六所村原燃 PR 中心內部（圖片來源：青森縣觀光情報網）

畫介紹正確的射放線觀念、各種能源發電的優缺點、核能發電的原理、全球暖化現況等，配合各種影像、模型以及遊戲，提高學習趣味。頂樓 3 樓為高度 20 米的 360 度觀景室，向尾駮沼的方向望去可看到核燃料循環設施以及太平洋，另外一邊則可看到 51 座的小川原國家石油儲存槽以及一共 92 座的風力發電風車。

為確保當地環境安全，日本原燃以及當地政府單位均定期採樣進行放射性分析，並設置輻射即時監測系統，展示館內畫面每 10 分鐘均會更新一次數據。青森縣政府的網站也設有整個青森縣的即時輻射偵測數據，隨時供民眾觀看。另外，原燃 PR 中心也定期發行刊物，除了介紹各項設施的進度與環境輻射監測結果之外，還會報導青森縣當地如旅遊、美食、輻射介紹等與日常生活有關的資訊。

地方回饋

日本原燃在過去的時間竭盡所能的透過各種方式，在六所村宣導核能安全、舉辦說明會，強調「最高標準的安全」以及「熱愛地方」為行動準則，每年也都會派員至居民家探訪，進行溝通，在興建設施或安裝重要設備前也會特別舉行說明會、公聽會，消除民眾疑慮。每年均會向地方繳交稅金，並按照日本電源三法規定辦理回饋事宜，亦參與當地像是重整道路、興建公共設施等的公共事務，最具代表性的即是興建 Rocca-Pocca 溫泉會館，送給當地民眾作為禮物。

結語

人口僅有 1 萬出頭的六所村，從最初僅能靠漁業為生的小村落，在原燃園區設立後帶來上千個工作機會，居民的平均所得位居整個青森縣之首，當地政府不僅沒有財政赤字，甚至還可以有大筆的盈餘。這些豐沛的回饋金除了可用於當地的硬體建設，還可發展觀光、協助農產品的研發、增加農漁貨的收成等。或許核子設施的設立伴隨著不少政治議題，但日本原燃在六所村所建造的原燃園區，為當地消除了年輕人口外移的問題，也替當地的民眾帶來美好的榮景是不可否認的。

資料來源：

1. 日本原燃
2. 六ケ所原燃 PR センター
3. 六ケ所村 Official Website





▲日本原燃替六所村居民所建造的 Rocca-Pocca 溫泉會館（圖片來源：六所村原燃 PR 中心）

福島的環境放射性汙染——過去、現在及未來

文‧鈴木 元　譯‧朱鐵吉

福島事故與環境放射性汙染的始末

2011 年 3 月 11 日東日本發生大震災，東京電力公司福島一廠的 1-3 號機因失去外來的交流電源，導致核反應爐的爐水冷卻機能完全喪失，爐心開始熔融，圍阻體亦劣化龜裂，3 月 12 日 1 號機、3 月 14 日 3 號機爐心內大量增生的氫氣產生高壓，導致爆炸。3 月 15 日早上 2 號機開始大量洩漏放射性物質。釋入大氣中的放射性物質，至 3 月 23 日開始才大幅地降低；但是，此時直接洩漏入海水中的放射性物質尚未完全被控制。

根據聯合國輻射科學效應委員會（UNSCEAR）2013 年報告書，指出 1-3 號機釋出的放射性物質總量－氙 133（^{133}Xe）為 7.0×10^{18} 貝克，碘 131（^{131}I）為 1.0×10^{17} ～ 5.0×10^{17} 貝克，銫 137（^{137}Cs）6 ～ 20×10^{15} 貝克，銫 134（^{134}Cs）的放出量和銫 137 的比值約為 1。

國際原子能總署（IAEA）2015 年出版的報告書也有相同的評估，即氙 133、碘 131、銫 137 的排放量分別為 6.0×10^{18} ～ 1.2×10^{19} 貝克、1.0×10^{17} ～ 4.0×10^{17} 貝克、7.0×10^{15} ～ 2.0×10^{16} 貝克。事故發生時，季風從西往東吹，釋放出來的放射性物質大多往太平洋沉積，以大氣擴散模型模擬實驗結果，釋出的銫 137 總量僅有 23%在日本陸地上沉積（UNSCEAR 2016 白皮書）。

為了輻射防護和環境修復而採取各種必要的因應措施，但是，由於環境污染的空間太大，難以掌握。2011 年 4 月 4 日日本學術會議緊急提議，日本原子力研究開發機構（以下簡稱原子力機構）先進行研究，後來很多研究者參與協助，開始著手製作汙染分布地圖，並且加入已測量的空間劑量率數據，以及簽註已固定的偵測地點的空間劑量率。為了顯示廣大範圍的空間劑量率，使用航空機、直升機以及汽車等偵測空間劑量率，又在偵測點的原來位置（in situ）實施核種分析。2011 年 6 月開始，在福島一廠周圍 80 公里內採取 2,200 個地點的土壤樣品，實施核種分析。原子力機構估計，80 公里內放射性落塵沉積於森林中約 70%、農耕地 20%、市街地 5%。

事故後 1-2 個月環境汙染的轉變

核子事故後初期，除了氙 133、銫 134 及銫 137 以外，環境中尚含有碲 132（^{132}Te），放射性碘（碘 132、碘 133、碘 135）等短半衰期散射性核種，由於半衰期短很快因衰變而從環境中消失。2011 年 3 月 12 日除了含有放射性的煙羽（Plume）曝露外，這些短半衰期



核種對體內曝露影響很小。

從體內曝露的觀點來說，放射性核種的物理半衰期達 8 天的碘 131 比較重要。碘 131 汙染空氣後被吸入體內，被污染的水和食物則從飲食進入體內。進入體內的 10-30%會在甲狀腺累積濃縮，甲狀腺體積小，尤其是兒童體積更小，導致受到碘 131 的照射而劑量增高，有誘發癌症的疑慮。至於物理半衰期短的放射性核種，在環境測量中很難測定，因此對汙染環境的情形很難掌握。

土壤樣品中碘 131 測定的結果，以及長半衰期碘 129 的測定數據，綜合推估碘 131 在環境中的分布。由測定數據評估，核子事故的汙染是從核電廠西北方和南方廣泛分布。

碘 131 的物理半衰期為 8 天，30 天後衰減剩下 1/13，60 天後剩下 1/180。沉積在淨水場和水源地的部分碘 131，會遷移到自來水中。根據日本自來水源的偵測結果，4 月份後自來水中碘 131 含量已無法測出，均在偵測極限值（detection limit）以下。

環境污染的轉變—事故後至今 5 年

含有短半衰期的放射性碘核種，它的影響不大，事故後 1-2 個月內，造成體內外曝露的射源是以放射性銫為主。從核子事故周圍 80 公里內，用航空機在事故 1 個月至 64 個月偵測空間劑量率後的推測值，加上居民居住地的除汙作業，使得廣大區域的空間劑量率降

低，且風化作用（weathering）的效應以及銫134（半衰期2年）的物理衰減效果，導致森林中放射性銫的分布產生變化。

銫134和銫137的物理半衰期分別為2年和30年，事故後5.3年時，銫134的濃度衰減至16%，銫137的濃度則衰減至88%。兩者若是同樣的放射性濃度，銫134放射出較高能量的加馬射線，因此銫134對空間劑量率貢獻較大。IAEA採用TECDO-95模式，用CF3係數，推算事故後5.3年由於物理學的衰減效應，空間劑量率減少36%。實際上，觀察空間劑量率減低，除了銫134和銫137的物理衰減外，風化作用的效應也有重要的貢獻。

風化作用效應，使沉積在土壤的放射性物質受到風的吹襲而移動，下雨使放射性物質隨著土壤流動，在土壤中滲透，使得放射性物質在水平方向、垂直方向的空間分布產生變動。

大雨後，河水混濁，放射性銫在土壤中受到黏土粒子吸附。大雨時一般道路受雨水沖洗，含放射性銫的黏土粒子隨著流入排水溝渠，轉至下水道而流入河川。

森林和耕地的表層因大雨而流失，含放射性銫的土砂也流入河川，最後轉移至海中。大雨時河川底泥沉積著放射性銫，瞬間河底的空間劑量率升高，接著大雨從上游流下的土砂覆蓋在河底上，產生屏蔽效應，輻射劑量率便下降。

至於河川排放至太平洋的銫137，UNSCEAR 2016年的報告指出，每年排放的放射性約在5～10×10^{12}貝克，這個數值約占事故後銫137在河水中沉積量的1～2%。之後，森林因風化作用效應使放射性銫釋出的量越來越少。排放至太平洋的放射性銫大部分來自市街地、農耕地流入河川而轉至太平洋中。

日本原子力機構的報告指出，過去5年空間劑量率的變化受到土地利用型態的影響。都市部分衰減最大，其次是農耕地，而森林的衰減最小。森林部分的衰減和物理衰減大致相同，都市部分除汙是重點，道路的鋪裝及耕作活動影響較大。

風化作用的另一面即土壤的滲透作用，放射性銫放射加馬射線受到土壤本身的屏蔽，而使空間劑量率下降。土壤的性質影響滲透的速度各有不同，以福島縣實測的數據顯示，未除汙的土地如旱田，地面至6公分深的土壤放射性濃度直線下降；另一方面除汙及耕作的土壤，在深部的位置出現放射性銫的分布。

環境中放射性銫的存在型態會發生變化。土壤中含有的放射性銫，因土壤浸泡在水中（如水田），可分成離子化水溶解（溶存態）和黏土吸附兩種成分。事故後，溶存態的放射性銫漸漸減少，結合在黏土中的銫濃度相對的越來越多，植物的根部能吸收的溶存態濃度減少後，從根部吸收的放射性銫就越來越少，因此，從土壤中轉移到植物體內的銫濃度也隨之減少。

核武試爆盛行的1960年代至今，日本國內稻田土壤中銫137的轉移係數約0.001。福島事故後白米受到放射性汙染，從土壤到白米的轉移係數上升到0.01左右，目前已下降。

森林的特徵

森林內風化作用的效應有不同的機制，放射性銫的空間分布產生變化。發生事故時含有放射性銫的粉塵隨著雨滴落下，雨水中部分放射性銫附著在樹葉和樹皮上，因風化作用由雨水從樹木沖洗下流至地面，其中一部分由樹葉和樹皮吸收。因此，森林中的放射性銫不只分布在土壤中，在土壤上10-20公分的樹幹上也廣泛分布，產生的加馬射線會橫向照射。

事故後 3 個月針葉樹林茂盛，事故後 2-3 年開始落葉，伴隨著垂直方向的空間劑量率已證明會產生變化。也就是說，樹頂的放射源大幅減少，地面的放射源反而增加。事故後，樹葉和樹皮所吸收的放射性銫，比從根部吸收的放射性銫為多。所以由樹木發射出來的加馬射線隨著時間經過而越來越少，樹木之間的遮蔽效應使從森林中發出的加馬射線也越來越降低。

森林、水田、旱田和都市地區，風化作用的效應迥異。腐質土多的森林，菇類等菌類能吸收放射性銫，儲存在菌類植物中，特別是菇類的傘帽含有較多銫核種，這類森林的土壤中銫核種的垂直方向滲透甚慢。從森林中流入河川，再流出來的放射性銫的測定，由（日本 JAEA）Niizato 等人的調查指出，從森林中每年流出量約為沉積總量的 0.1%，隨著時間經過，從根部吸收的部分下降，轉移至植物中的遷移率也下降，但是高汙染的森林中，菇類、菌類以及根部較淺的植物，尚含有較多的放射性銫。

福島的環境汙染—現在、未來

食品： 2014 年食品檢驗以測定放射性銫在食品中的含量為主，取樣對象為野生菇類、野草、馴鹿肉、鹿肉等。在市場流通食品取樣檢驗方式，設定日本人一般生活的食品，推估其放射性銫的含量，進而評估其造成的體內劑量，檢驗結果評估體內放射性銫與放射性鉀（鉀 40）造成的劑量，銫 137 只有鉀 40 的 1/10，因此食品中的放射性銫汙染，對健康的影響很小，可以放心。

空間劑量率：日本 JAEA 所開發的評估模式，依過去 5 年空間劑量率的衰減數據評估，因核事故而設定的返家困難區、避難準備區等高汙染地區，評估結果，事故 10 年後空間劑量率會遞減至每小時數微西弗以下。除了森林地區以外，由於已完成除汙工作，以及水田、旱田開始種植利用，降低空間劑量率的速度因此加快。已解除避難地區，則以步行方式測量空間劑量率，製成空間劑量率的地圖，評估劑量後公諸於世，以消除居民的不安疑慮。

有關低劑量被曝露

放射線生物學與放射線疫學專門研究者指出，每年接受未滿 10 毫西弗低劑量的曝露，對身體幾乎沒有影響，在動物實驗和疫學調查的結果，均未發現有任何症狀。低劑量率、低劑量的輻射曝露對健康的影響，比起抽菸，喝酒，攝取蔬菜不足和導致肥胖的生活習慣等，對健康影響的風險更小。

在福島縣養育小孩，其「安全」與「健康」其實不用擔心，不會比其他地方風險大。至於解除劑量風險可以返鄉的地區，其「就業場所」和「醫療服務」以及「教育環境」等，是否能獲得多數人的認同，迄今未能完全解決。

福島地區拆廠除役事業、新的技術開發伴隨著相關的新興產業，也會因「就業場所」和「醫療服務」和「教育環境」等機能的欠缺，而使多數人不願返鄉生活。所以生活環境的再創造，努力促進綜合再生的環境是相當重要的課題。

（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）

資料來源：

鈴木 元，” 福島の環境污染——過去、現在、そして未來” ，Energy Review, Feb. 2017, vol.37, No.2 p.38-41

什麼是放射性和輻射？（三）

文・朱鐵吉



問 7. 放射性究竟是什麼？

答：簡單地說，放射性（radioactivity）是放射出輻射（radiation）的性質或能力。因此，具有放射性的物質，即會放射出輻射，正確的說法是將具有放射性的物質稱為放射性物質。但是一般人會把放射性物質就簡單地稱為放射性。其實放射性一詞原本是用來表示物理的性質，但是不知何時變成了表示物質的術語。由於長期將這些術語混亂的使用，導致很多人都習慣的認為放射性等於放射性物質。

問 8. 什麼地方有放射性物質？種類有多少？

答：地球上到處都有放射性物質。遠古以來自然界就有氚（^{3}H，氫為 ^{1}H），碳 14（^{14}C，普通碳為 ^{12}C），鉀 40（^{40}K），氡 222（^{222}Rn），鐳 226（^{226}Ra），釷 232（^{232}Th），鈾 238（^{238}U）等約 70 種放射性物質，這些稱為天然放射性物質。

其中，鉀、鐳、釷、鈾等廣泛分布於地殼中，氚和碳 14、氡等存在於空氣中。此

外，這些物質也溶於雨水、地下水、河水和海水中。在海水中，每 1 立方公尺含有 3 毫克（=3ppb）鈾；全部海水中鈾的總量達 46 億噸。在地殼中埋藏著大量的放射性物質，是在地球形成時即生成的。地熱就是由這些放射性物質所放出輻射的能量轉化成的熱能；溫泉水中含有鐳和氡就是證明。不論輻射能量多大，最後都轉化為熱能。空氣、土壤和水中所含的放射性物質亦會被動植物攝取到體內，因此我們的食物和飲水中也含有放射性物質。我們生活周圍中有些傢具和建築物也不例外地含有微量的放射性物質。我們的體內，經由食物也攝取了多種放射性物質，其中攝入鉀 40 特別多。

在放射性物質當中，除上述的天然放射性物質外，利用加速器或核反應爐等裝置，以人工生產的稱為人造放射性物質，如鈷 60（^{60}Co）、鍶 90（^{90}Sr）和銫 137（^{137}Cs）等，目前為止已達兩千種以上。

核電廠的核心由於鈾的分裂，在反應爐中產生大量的各種人造放射性物質，為了不讓這些物質洩漏到外界，反應爐設置了 5 道防護屏蔽（容器）。1986 年前蘇聯車諾比核電廠的事故使大量的放射性物質外洩，並向歐洲擴散。這個反應爐型式和歐美所設計的不相同，其主體本來就有缺陷，防護屏蔽也不完全，更不可饒恕的是事故發生的主要原因，是由於運轉人員切斷了反應爐附設的各種安全及警報裝置的自動開關，以手動方式操作反應爐和進行實驗，最後造成重大核子事故。

反應爐圍阻體建築物 ❺
鋼製安全容器（乾井）❹
壓力容器 ❸
燃燒護套 ❷
燃料棒
燃料丸 ❶

核一廠的 5 道防護屏蔽

此外，核子武器在大氣中試爆會產生很大量的人造放射性物質灑落在地球表面，稱為「放射性落塵」。過去的核爆所產生的人造放射性物質濃度很低，目前尚殘存於空氣、水及土壤中。

人造放射性物質在醫、農、理工與生物學領域中獲得廣泛的應用，例如：鈷 60 在各方面均有大量的利用，極微量的鉅 147（^{147}Pm）用在夜光塗料的字盤的光源。

不論是天然或人造的放射性物質在我們體內都有微量的存在，並存在於空氣、水和土壤中。這些放射性物質經常地放出輻射，所以我們的周圍不僅有像 X 射線那樣的人造輻射，還有來自放射性物質的輻射及宇宙射線。

問 9. 受到多大的輻射曝露會有危險？

答：我們的身體受到的輻射曝露來自（1）宇宙射線；（2）大地產生的輻射；（3）經由食物攝入體內的微量放射性物質。這些輻射總稱為天然輻射。這些輻射造成的有效等價劑量平均每年約 1.1 毫西弗（mSv），表 1 列出了這 3 種輻射的劑量。此外，我們受到來自空氣中氡氣的有效等價劑量平均每年約 1.3 毫西弗。

人體在地面上受到宇宙射線的粒子照射約每秒 500 個，宇宙射線的強度隨海拔高度而增強，在平流層其強度為地面的 10 倍。因此搭乘飛機的時候自然會受到較多輻射的曝露，但還不致於達到威脅健康的量。不過太空人在太空中長時間的飛行受到的劑量則不可忽視。世界上高輻射背景區如印度的喀拉拉地區為 2.81 毫西弗 / 年，巴西的加拉培利地區為 12.0 毫西

表 1. 來自天然輻射曝露的年有效等價劑量

來自宇宙射線	0.35 毫西弗
來自大地	0.40 毫西弗
來自食物	0.35 毫西弗

弗 / 年，廣東省陽江縣為 3.0 毫西弗 / 年。因此，大地輻射的強度隨地區而異，因為都是低劑量，所以對當地居民不會造成健康的影響。

天然輻射在地球生物誕生之前就有了，其強度比現在高得多，人類也是在這種輻射環境中進化過來的。最近已經發現，在遮蔽了天然輻射的環境中，生物難以生育。

有人以為天然輻射是無害的，而人造輻射和人造放射性物質的輻射才是有害的，這種想法是錯誤的，這兩種輻射的本質其實一樣，有害與無害的劃分標準是天然輻射的水準低。有人一聽到「輻射」或「放射性」就恐懼不安，感到很害怕，這不是科學的態度。重要的是它的量的大小。有的人神經過敏，連泡溫泉浴、看電視，甚致於長途坐飛機都怕輻射的照射。其實什麼事都要作定量的比較再作判斷才是最重要的。

表 2 是我們日常生活中遇到的輻射的強度和劑量的比較。吸煙時，煙草中所含的釙 210（^{210}Po）會使肺受到照射。胸部 X 射線攝影時，瞬間受到的劑量相當於一年中受到宇宙射線照射的劑量總和。人類致死劑量為 7,000 毫西弗。除了對醫療曝露未規定劑量限度之外，目前法律對一般公眾規定的劑量限度為 1 毫西弗 / 年（mSv/y）。

日本山梨縣增富溫泉的放射性物質濃度之高是有名的，一公升的溫泉水每分鐘有 10,000 次輻射。在那裡受到的劑量自然與入浴時間長短有關，但也不至於達到危害健康的劑量。所以，溫泉雖然可看成是個「會接受輻射曝露的收費設施」，但若對於到底去不去溫泉區這個問題而煩惱不已的話，反而對健康才真是沒有好處。❂

（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）

表 2. 日常輻射的強度和劑量

核電廠運轉時廠界外實際測定值	0.0002 毫西弗 / 年
乘飛機（經由日本往美國航線）	0.04 毫西弗 / 時
吸煙（每日 20 支）	0.18 毫西弗 / 時
胸部 X 射線攝影	0.3 毫西弗 / 次
核電廠廠界外劑量限度的法規值	1 毫西弗 / 年
胃部 X 射線透視	4.1 毫西弗 / 次
導致白血球異常	250 毫西弗 / 次
脱毛	3,000 毫西弗 / 次
致死劑量	7,000 毫西弗 / 次
廣島核爆中心點	100,000 毫西弗 / 次
癌症治療	2,000 毫西弗 / 次 ×30 次（針對癌組織）

註：毫西弗 = mSv

惱人的過敏，**速速退散！**

文・編輯室



多吃蔬菜水果 有助緩解氣喘或呼吸系統過敏

發表於《自然醫學（Nature Medicine）》期刊的研究結果發現，當實驗老鼠的腸道細菌在消化膳食纖維（蔬菜和水果中含有豐富的膳食纖維）時，它們會釋放脂肪酸進入血液中，這會影響免疫系統在肺部保護個體免於氣喘威脅的能力，這可能可以部分解釋為何在西方式的飲食流行、新鮮蔬果攝取量減少的時代，過敏性肺病的發生率較過去 50 年攀升。

在研究中，研究人員進行 3 組實驗小鼠測試，第 1 組模擬西式飲食，餵食低纖維飲食；第 2 組提供一般標準飲食，包括正常的纖維含量；第 3 組則是提供含豐富可發酵纖維的標準飲食。然後，研究人員將這些實驗小鼠曝露於塵蟎環境下，結果發現：

低纖維飲食的小鼠較標準飲食，包括正常的纖維含量的小鼠肺部的黏液量較多，有較強的過敏反應。攝取含豐富膳食纖維的小鼠組別，相較標準飲食組別又有更強的防護能力，過敏反應相較又更低。

這項研究提供了強烈的證據證明多吃蔬菜水果的好處。

壓力會誘發過敏

2014 年 4 月刊載於《過敏、哮喘和免疫學年鑑期刊（Annals of Allergy, Asthma & Immunology）》的研究結果顯示，壓力可能會誘發有季節性過敏的人過敏的發作、發作的頻率，以及加重症狀。

研究人員觀察 179 位有花粉症的民眾 12 週，發現部分民眾在過敏發作前經歷了一些持續加重的生活壓力，其中有 39% 過敏發作超過 1 次，而這些發作的患者比其他在研究期間未發作者，有較高的壓力。結論是：

- 壓力會對身體造成負面的影響，包括會引起過敏者更多過敏症狀。
- 有頻繁過敏發作的人也有較多的負面情緒。
- 過敏的症狀包括打噴嚏、流鼻水、流眼淚等症狀，又可能帶給過敏者壓力。
- 減輕壓力並不會治好過敏，但可以幫助減少

過敏發作及頻率，減輕過敏的症狀。

「家裡太乾淨」會造成過敏體質

發表於《過敏與臨床免疫學期刊（Journal of Allergy and Clinical Immunology）》的新研究顯示，家裡如果太乾淨會讓剛出生的孩子在往後的生活中容易有過敏或氣喘的狀況。而曝露在囓齒動物、蟑螂和貓等居家細菌和過敏原的嬰幼兒，在 1 歲以前不太可能會遭受過敏或氣喘之苦。

研究以 560 名巴爾的摩、波士頓、紐約及聖路易斯城市內新生的嬰兒進行研究，招募的這些嬰兒受試者在子宮中醫生就開始追蹤他們的健康狀況，直到出生。之後走訪嬰兒家中測量過敏原的數量和類型，並收集約 1/4 房屋的粉塵，進而分析其細菌含量。研究發現：

- 孩子在過度乾淨的環境下，因為身體無法對免疫系統造成刺激，而更容易發展成過敏性體質的衛生理論（hygiene hypothesis）獲得支持。
- 未滿 1 歲的孩子，在乾淨的環境下成長，有 51% 患有氣喘；而在含有老鼠、貓皮屑及蟑螂糞便的房子裡成長，則僅有 17% 會有氣喘。
- 將近 41 %無過敏與氣喘的孩子，分別在有高度過敏原和細菌的環境中長大。
- 只有 8% 遭受過敏與氣喘雙重之苦的孩子在 1 歲前曝露在這些物質之下。
- 嬰兒在有較多種類細菌的房子裡成長，在 3 歲時較不容易發展成過敏或氣喘。

綜論來說，曝露於過敏原和細菌的環境似乎是一種保護。

7 種季節性過敏者常犯的錯誤

或許您已經知道空氣中的過敏原（如花粉）會讓人多麼不舒服，但您可能不知道一些錯誤的觀念會讓您的過敏症狀更嚴重。

錯誤 1：不當使用藥物。

由過敏專家幫您找出過敏原，並針對過敏設定執行計畫會比較妥當。

錯誤 2：敞開的窗戶。

對季節性過敏的人來說，開窗會讓更多的外界過敏原（如花粉）飛進屋內。建議保持窗戶緊閉，並使用高效濾網空調將屋內空氣循環過濾。

錯誤 3：對於過敏原（如花粉）不採取任何措施。

鞋子、衣服、頭髮、寵物和眼鏡上都有可能攜帶過敏原，回家後先洗頭可以避免過敏原從頭髮上掉落到枕套上。利用生理食鹽水、噴鼻劑輕柔的清洗殘留在鼻腔內的花粉。

錯誤 4：忽略了眼睛。

過敏原也可以藉由眼睛進入人體，所以戴上寬邊帽子和太陽眼鏡可以保護您的眼睛。另外沖洗眼睛可以洗去花粉，而抗組織胺眼藥水可以緩解眼睛的紅、癢。

錯誤 5：等很久才使用抗過敏的藥物。

應該在花粉季節前 1-2 個星期，過敏患者季前就開始使用抗過敏的藥物，而不是等到症狀變嚴重了才使用。

錯誤 6：過度使用鼻腔噴劑。

人們應該限制使用減緩充血的鼻腔噴劑用量，最多連續使用 5 天，以免過度使用，刺激鼻子和鼻竇。

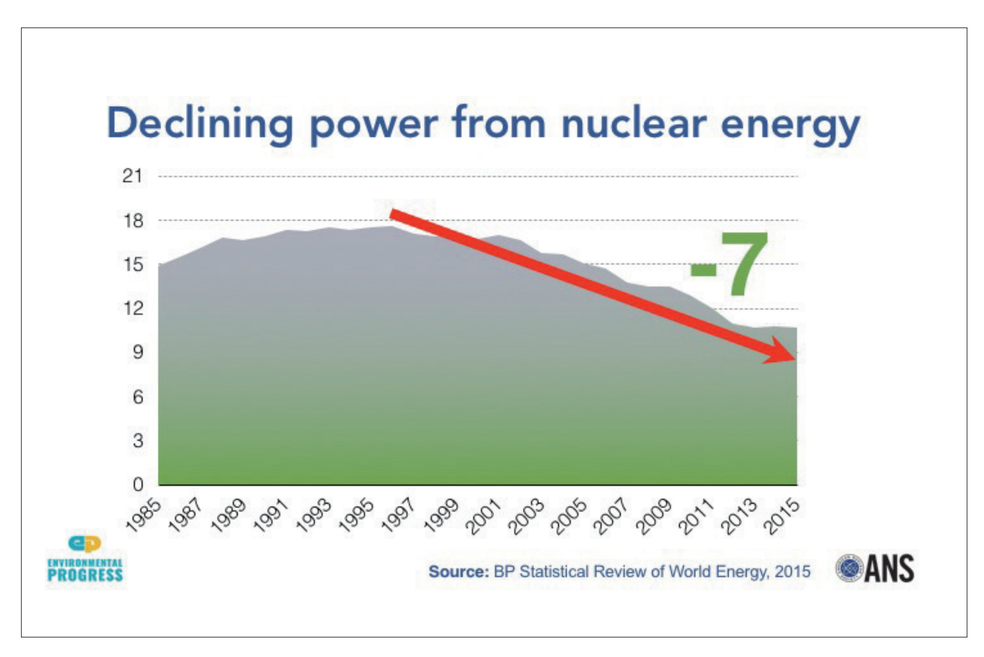
錯誤 7：攝取會加重過敏的食物。

有些過敏患者攝取某些水果或蔬菜時會導致口腔或喉嚨搔癢，這是因為花粉上的蛋白質和某些蔬果、堅果或香料上的蛋白質相似，而被免疫系統辨識引起過敏反應。

（以上健康資訊由喜悅健康診所提供）

原子人文主義—核能角色的新思維

譯・張文杰



▲圖 1. 核能在全球電力上的占比逐年下降

2017 年美洲核能學會（American Nuclear Society, ANS）的舊金山年會在 6 月 12 日的開幕式上，邀請到一位特別的來賓——麥可·謝倫柏格（Michael Shellenberger）進行專題演講。謝倫柏格是國際知名能源與氣候環境政策專家，也是知名環保人士，曾被《時代（Time）》雜誌評選為「年度環境英雄」，十幾前和朋友們成立 Environmental Progress（EP）NGO，目前是 EP 的主席。他也曾參與電影《潘朵拉的承諾（Pandora's Promise）》的拍攝。

最近台灣也有一群年輕人跟謝倫柏格有互動，並受邀前往參加謝倫柏格在美國加州 EP 總部舉辦的「核能的未來會議（Futures of Nuclear Meeting）」。會議中有來自許多國家的人，都是關心核能未來前途的夥伴。台灣年輕人並邀請謝倫柏格在今年 10 月來台演講，請關心氣候和核能的朋友拭目以待。

謝倫柏格在 ANS 年會上演講的講題是「核能角色的新思維（A New Way of Thinking about Nuclear's Role）」，次標題是「原子人文主義的激進革新（Atomic Humanism as Radical Innovation）」。

核能面臨危機速度正在加快

謝倫柏格首先秀出了 1985 年到 2015 年這 20 年間，核能在全球電力上的占比，高峰是在 1996 年，而到了 2015 年已經下降 7%。謝倫柏格說：「從三哩島和車諾比以來，核能事故造成的影響從未恢復過。」近來法國亞瑞華公司的失敗，以及東芝公司旗下的西屋電氣在美國聲請破產，對核能的未來更是雪上加霜。

沒有人懷疑政策的不足。根據非黨派國會預算辦公室的數據，去年再生能源的補貼比核能多了 114 倍。舉例來說，特斯拉汽車的創辦人和 PayPal 的聯合創辦人──馬斯克（Elon Musk），他的 Space X 公司已經獲得了美國太空總署 55 億美元的合約，他的其他企業也獲得 49 億美元的補貼，但是核能創新卻受到自然資源保護委員會（NRDC）等強大組織的反對。

亞洲應該帶領核能的復興。現在日本並沒有真正重啟核能，台灣和韓國正在跟隨德國的腳步廢核，瑞士和法國正在逐步淘汰核能，越南選擇用燃煤來發電，而不是使用核能。核能面臨危機的速度正在加快。

核能為何會面臨危機？

核能會面臨危機，不是因為安全或技術問題。韓國在去年秋天上映了一部核能災難片《潘朵拉》，以 311 東日本大地震為藍本，由於發生強烈地震，導致核電廠受災，最後演變成全國性災難，即使大部分內容是與事實不符的，但是這種誇張的拍攝手法其實相當具有震撼性。而南韓總統文在寅的選舉承諾之一是，要將南韓核電從現有的 30% 降到 2030 年的 20%。

核能的未來會如何？到 2030 年，世界的核能機組停機的數量可能是建好商轉的兩倍。美國的環保團體主張使用燃煤和化石燃料，因為美國擁有許多化石燃料，所以不需要核電。例如在威斯康辛州，甚至成功迫使電力公司關閉已經取得延役執照的核電廠，轉而使用更便宜的燃煤。難道人們不知道煤炭對健康和氣候有害嗎？

在 50 年代和 60 年代，人們已經知道核電廠跟原子彈是不一樣的，儘管如此，還是有一張海報的畫面是在三哩島核電廠附近的一位母親，穿上核武試驗士兵的衣服，而這張海報正掛在謝倫柏格父母開的食品合作社牆上，這嚇壞了當時還是小孩的謝倫柏格，也因此啟蒙了他的反核思想。

最危險的核電廠是沒有運轉的核電廠

核能事故總是被不斷提起，但是沒人會去提在三哩島事故的前 3 年，發生了提頓大壩的潰壩，造成了 11 人死亡和 20 億美金的損失。也沒人提更早 1 年在中國河南省發生的板橋水庫潰壩，造成超過 17 萬人死亡，上千萬



▲圖 2. 韓國核能災難片《潘朵拉》的海報

人失去家園。

數據清楚地顯示，風力發電光是進行葉片維護的意外事故致死人數，就已高出核電許多，但是媒體通常不會報導。所以最危險的核電廠是沒有運轉的核電廠，因為當核電廠未建成或關閉時，是由化石燃料取而代之，使更多的人們因此而喪命。

現在不該把精神都花在設計新型核電廠

關心安全的人們提出了一個問題：來自核能的死亡人數是如此的低，是否需要花幾十年或是更長的時間，去設計出更安全的新型核能反應爐？甚至更進一步提問：不斷地提出安全強化措施，是否在不知不覺中破壞了我們對現有核電廠安全的信心？有個知名的政治專家問謝倫柏格：「當我不斷地聽到有更好更新的反應爐設計出現，我為什麼要擔心現有的核電廠關閉了？」

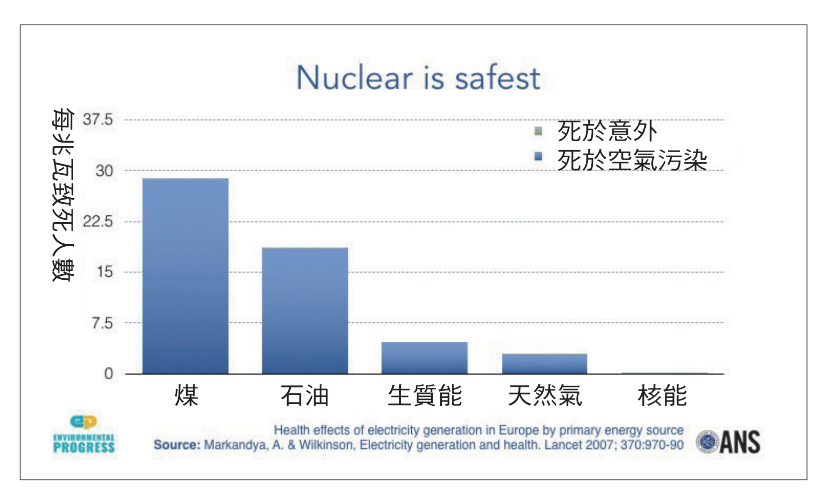
我們當然應該支持更安全的新型反應爐的創新技術，往更安全的方向前進是正確的，也是可以理解的。但是，核能的促進者和倡導者必須設法找到吸引公共與私人的投資，就像是再生能源的作法，讓這些投資者一起訴說核能的優點，這才該是最優先的項目。

而加強安全性不是現在需要的優先項目，是要讓民眾知道核電廠是安全的，不是一味地加強現有的安全能力，現在核電廠的安全度已經很好，更勝其他發電方式，一味追求更高的安全度，反而會讓人誤會，就是現在的核電廠不安全，所以核工業才要不斷加強安全度。

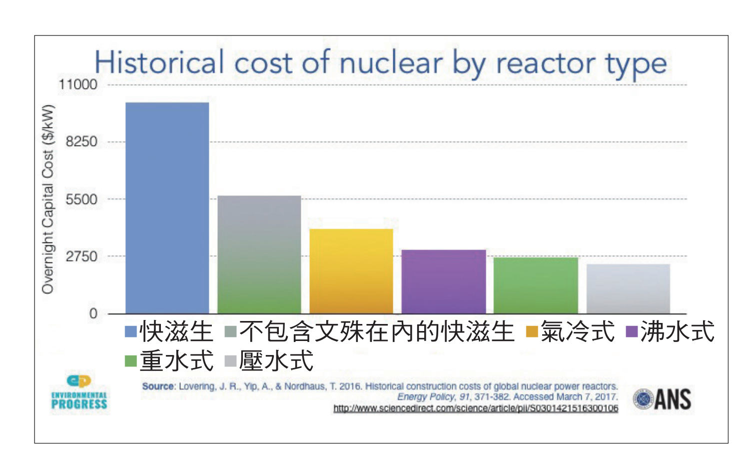
那成本呢？新型反應爐設計可以讓成本下降呀。請記住，核電廠的核島區只占總成本的 20%，即使新的反應爐成本只有現在的一半，對總成本的幫助也是有限。而且歷史數據顯示，水冷式的設計 (包含重水) 是最便宜的。

美國發展許多種的反應爐的型式，反而使會成本上升。根據美國核能管制委員會專員瑟林（Ivan Selin）的說法：「法國人有兩種反應爐和數百種奶酪，而在美國，這些數字正好相反。」

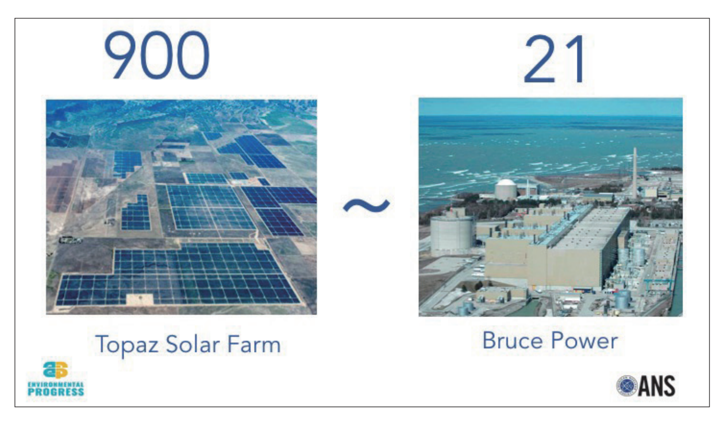
謝倫柏格認為還不如從其他層面下手，他提出 6 個可讓美國核能成本更便宜的建議：1. 國家的長期承諾，這對一個產業的發展是非常重要的。2. 標準化的設計，管理人員和工人



▲圖 3. 各種發電方式的每單位死亡人數



▲圖 4. 各種型式反應爐的成本



▲圖 5. 托帕斯太陽能發電廠與布魯斯核電廠的比較

要交接和上手時可以盡可能縮短時間。3. 集中由單一公司（通常是公用事業）負責時，有更好的效果，例如法國電力公司（EDF）。 4. 使用同一位建築師設計的，像是法國都使用同類型壓水式反應爐。5 . 在同一個核電廠內建造多個反應爐。6. 建造更大的反應爐，雖然建設時間和費用上升，但是可產生的電力更多，而且員工數不用增加太多。而且安全和經驗是密不可分的，標準化的設計以及同一型反應爐，可讓事故發生率下降。

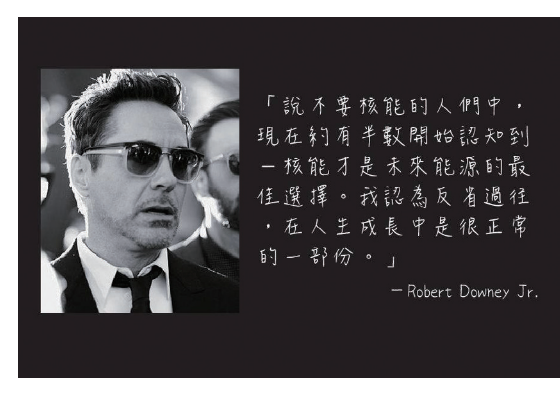
原子人文主義

　　什麼是原子人文主義（Atomic Humanism）？謝倫柏格提供 3 個基本原則。首先，核能是特殊的，別再假裝核能很普通。

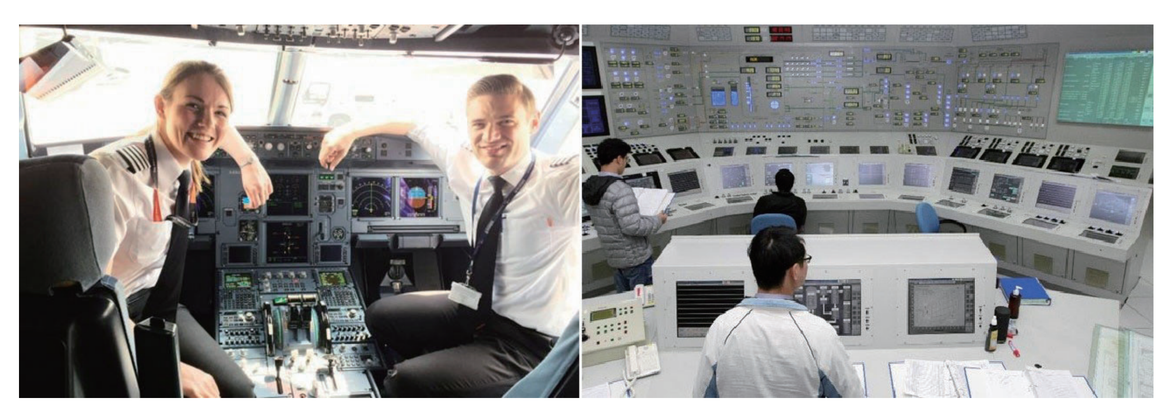
　　近年來，人們不斷發展風能和太陽能。過去 10 年來，全世界清潔電力（核能 + 再生能源）的下降量，相當於 21 個布魯斯核電廠（位於加拿大多倫多市），或是相當於 900 個托帕斯太陽能發電廠。而布魯斯核電廠占地 9 平方公里，托帕斯太陽能發電廠占地 25 平方公里，換言之，太陽能產生每度電所需要的土地面積約是核電廠的 120 倍，而製造光電板所產出的化學性廢棄物總量遠遠高於放射性廢棄物總量。

　　燃料的能量密度決定了其對環境的影響。隨著能源密度的增加，採礦、材料、廢棄物、污染和土地的需求都會增加，導致自然資源越來越少，不要小看土地需求的影響。

　　以前反對核能的英國知名歌手史汀（Sting）現在堅信：「如果我們要



▲圖 6. 小勞勃・道尼接受訪問時，發表對核能的看法



▲圖 7. 民眾對客機駕駛艙與機長，以及核電廠控制室與運轉員的印象（註：這兩張圖來自筆者 google 而得）

解決氣候變遷，核能是創造大量能源的唯一途徑。」這事實越來越明顯，並且改變了許多環保人士的核心思想。

如同知名的演員──「鋼鐵人」小勞勃．道尼所言：「說不要核能的人們中，現在約有半數開始認知到，核能才是未來能源的最佳選擇，我認為反省過往，在人生成長中是正常的。」

核能和人是不可分離的

第二個基本原則，核能和人是不可分離的。核能必須透過人們用工具產生核分裂而得，但是我們想到核能時，心中浮現的形象卻沒有人。每當核電廠外觀或內部控制室的照片出現時，往往是空無一人的冰冷場景，或是運轉員背對著你，但是噴射客機的駕駛艙照片出現時，會是穿著制服的機長回頭微笑打招呼的場景，專業又親切的形象讓社會大眾有信心，即使空難時有所聞，大家也不會因此害怕而不搭飛機。

因為航空公司要求機長要取得民眾的信任，如果民眾不信任機長，民眾就不敢坐飛機。當電力公司沒有要求運轉員取得我們的信任，我們要怎麼要求民眾信任核電廠？

謝倫柏格問了核工業界頂尖的安全專家，他對加州迪雅布洛肯揚（Diablo Canyon）核電廠的看法為何？「那是個很棒的電廠，因為在那裡的員工很在乎這座核電廠。」然後，謝倫柏格在迪雅布洛肯揚核電廠遇到的環保人士、有孩子的母親和營運商，他們都有很棒的笑容。

從根本上來說，不是什麼（What）使核能安全，而是誰（Who）使核能安全。每個事



▲圖 8. 是「人」使核電廠安全

故報告都說同樣的事情──人為因素和人機互動最為重要。是文化、訓練和紀律使核能安全。

未來仍有可能發生事故，反應爐可能會熔毀或爆炸，就像飛機未來仍會出現墜機事故。此時，關鍵在於營運商和政府如何避免讓民眾恐慌。可能會有少數人因為核能事故而死，但絕大多數的人因輻射外釋而得到的風險是很小的，讓人們保持鎮定和給予安全的避難所才是最重要的。

需要大家一起採取行動

第三個基本原則是，核能需要大家一起採取行動，讓我們成為偉大的原子人文主義者。除非改變民眾的信心，否則核能時代將會停止。

技術創新並不是核能界唯一，或最重要的事情。很多簡單的方式都能使現有核電廠更好，例如在同一個核電廠建更多反應爐等，最重要的是，讓民眾參與。

圖 9 是核能產業受到攻擊的地方，親核力量在各處都受到壓制，需要我們的幫助。我們必須擺脫舒適區，舒適區內不再安全，我們會在舒適區內遇害。必須到處旅行，和各地的親核戰士見面，提供他們物質、心理和精神上的援助。

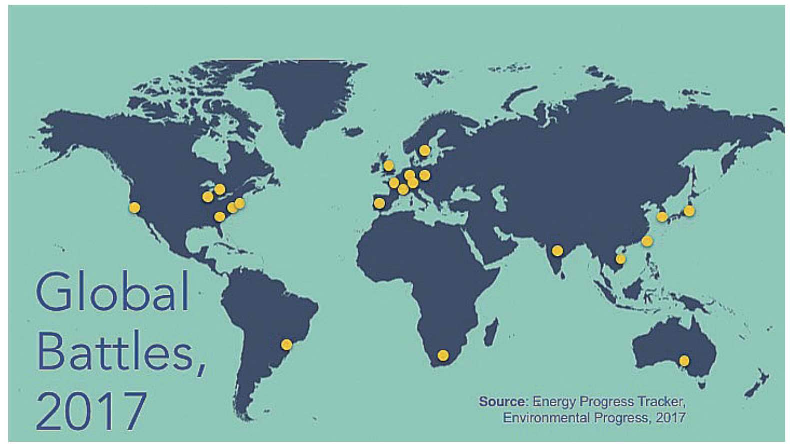
現在是採取行動的時候了，支持核電不能只是嘴上說說而已，除了破除不正確的謠言並導正觀念外，我們必須走向戶外積極表態，並爭取各種可能的支持。在美國伊利諾州和紐約的擁核遊行，成功地保存了核電廠。

最後，身為親核環保人士、ANS 成員、也是原子人文主義者，我很高興與 ANS 這種專業的學術組織一起實現共同的願景，即「在提升並推廣核能科技方面成為具有公信力的先驅」。

各位，這將是一場盛大的冒險，準備好一起面對了嗎？

（本文作者為清華大學工程與系統科學系研究助理）

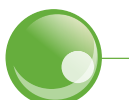
麥可· 謝倫柏格的講稿連結：
http://www.environmentalprogress.org/big-news/2017/6/12/atomic-humanism-as-radical-innovation-2017-keynote-address-to-the-american-nuclear-society



▲圖 9. 全球核能產業受到影響的地方



▲圖 10. 美國的擁核遊行



日本高浜電廠 3、4 號機組再次重啟運轉

文・編輯室

關西電力公司已於近期分別重新啟動位於福井縣高浜核電廠的兩部機組，這兩部機組也是日本在 2011 年福島事故後第 4、5 部重啟的核電機組。而這次的重啟也剛好與將於數個月後自法國送抵日本的鈾鈽混合氧化燃料（MOX fuel）的時間點重疊，這批混合氧化燃料將送至 4 號機組使用。

高浜電廠 3、4 號機組原本已於 2016 年初分別重啟運轉，但當時因有居民在重啟前向大津地方法院提出這兩部機組停機的申請，地方法院隨後於 3 月時做出兩部機組停止運轉的假處分，關西電力公司不服對此提出上訴，最終大阪高等法院於今（2017）年 3 月底駁回地方法院對兩部機組停機假處分的裁決，允許兩部機組再次重啟。此舉被視為首相安倍晉三在能源政策上的一項勝利，關西電力公司也於 5 月中先重啟 4 號機，再於 6 月初重啟 3 號機，將於近期開始供電。

日本目前另外 3 部運轉中的反應爐分別為九州電力公司在鹿兒島的川內核電廠 1、2 號機，以及四國電力公司位於愛知縣的伊方核電廠 3 號機。四國電力公司目前也同時在進行伊方 1 號機的除役計畫，該除役計畫也於 6 月底獲原子力規制委員會批准通過。這座 53.8 萬瓩壓水式反應爐的運轉年限原可至 9 月，但因延役需要投入的成本過高，電力公司因此決定放棄重啟計畫。

伊方 1 號機自 1977 年 9 月即開始商轉，但於福島事故後與大部分日本核電廠相同停機接受安檢，該部機組也在福島事故後通過更嚴格的規範，成為事故後第 6 部獲准除役的機組。整個除役過程約需要 40 年的時間，預計花費約 400 億日圓（約 110 億新台幣）。在除役期間預計將產生約 3,000 噸的低放射性廢棄物，不需被列入放射性廢棄物的則約有 4 萬噸，至於用過核燃料則會移至 3 號機的燃料池中。根據 1 號機的除役計畫，整個除役過程將在 2056 年（財政稅務年）底完成，拆解的準備工作將於 2017 年開始至 2026 年結束，拆解作業則將於 2027 年開始。

日本其他獲准除役的 5 部核電機組分別為關西電力公司的的美浜 1、2 號機、日本原子力發電公司的敦賀 1 號機、中部電力公司的島根 1 號機，以及九州電力公司的玄海 1 號機。❁

資料來源：

1.Nuclear Engineering International. “Japan restarts second Takahama unit.”

2.Nuclear Engineering International. “Decommissioning approval for Japan's Ikata 1.”

日本使用新機器人檢查福島電廠反應爐容器

文・編輯室

東京電力公司（TEPCO）在 2015 年 10 月執行一項檢測時，發現冷卻劑液體在福島第一核電廠受損 3 號機的一次圍阻體（PCV）底部，積了約有 6 公尺深。如果要進入圍阻體進行探測只能透過其滲透孔進出，但圍阻體滲透孔的直徑僅有 14 公分，可進入一次圍阻體內執行檢查的機器人因此受到限制。日本東芝核能系統與服務部門一名高層主管表示，東芝已完成遠端遙控機器人的開發，將用來檢查福島電廠，在現在這種情況下，東芝必須面臨進入空間有限、積水以及高放射性環境等因素所帶來的挑戰。

東芝也提到，與國際核能除役研究機構（IRID）一同進行研發的這台小型機器人非常成功，可在高放射性的環境下工作，希望能通過這次的探測來獲得有助於機組除役的訊息。



▲用於福島第一核電廠 3 號機組的機器人機身小巧且能潛入水中（圖片來源：Toshiba-IRID）

這台防水的機器人身長只有 30 公分，直徑 13 公分，剛好可以穿過直徑 14 公分的圍阻體滲透孔並潛入積水中來探查；機器人的正面與背面都裝有攝像頭和 LED 燈，重量約 2 公斤；整體透過尾部的電線來進行遠端操作與供電，可以承受 200 西弗的放射線。這台機器人將用來記錄圍阻體內部毀損程度的影像，蒐集該如何取出燃料殘骸的資訊。

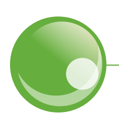
根據 CNN 於 7 月 24 日的報導，由這台機器人捕獲、傳回的影像顯示，福島 3 號反應爐的地板上有疑似核燃料熔融後凝固的沉澱物，電廠的工作人員表示，他們相信這極有可能是熔化後的金屬與燃料殘骸。而這也是自 2011 福島事故以來首次確認反應爐內部的情形，東電發言人表示，這次獲得的數據以及圖像對未來該如何移除燃料殘骸所帶來的幫助是無法衡量的，「這是我們向除役過程邁出非常重要的一步」。

資料來源：

1.World Nuclear News. “Robot ready to inspect Fukushima Daiichi 3 vessel.”

2.CNN. “Fukushima robot reveals first sign of melted fuel in submerged reactor.”





韓國將首度淘汰老舊核電機組

文・編輯室

韓國於今（2017）年 6 月初決定將永久關閉國內最年邁的核電機組──古里 1 號，這也是韓國首次有核電機組除役。根據韓國媒體報導，古里 1 號已於 6 月中旬終止運轉，待韓國水力核能電力公司（KHNP）完成所有用過核燃料的轉移後，預計將於 2022 年開始拆除作業。

古里 1 號於 1978 年開始商轉，最初設計的運轉壽命為 30 年，但韓國政府於 2007 年底通過其延役 10 年的申請，加上後期一系列核發許可所需要的時間，古里 1 號有可能可運轉至 2027 年。不過，隨後在 2012 年發生的電廠全黑事件，導致外界開始質疑該部機組的不穩定性，因為廠內備用柴油發電機在這 10 分鐘的電廠全黑期間並沒有正常運作，導致核燃料溫度過度升高。國際原子能總署（IAEA）旗下的核安小組對此也指出了數個運轉過失，包含了無法及時應對電廠全黑，以及在隨後的溝通與呈報方面的失常等。核安小組做出的報告還提到，古里 1 號的內部監督系統未能及時、準確的反映出電廠停電。因此，韓國水力核能電力公司在 2015 年 8 月時宣布撤銷該部機組延役的申請，隨後於 2016 年中申請除役。

而韓國在政權輪替後面臨能源政策轉變，新上任的韓國總統文在寅在出席古里 1 號結束運轉儀式時表態，未來不會有任何核電機組的興建計畫，現有機組的運轉年限也不會超過 40 年，昭示其打算逐步淘汰核電的政策。古里 1 號關閉後，韓國仍有 24 部機組處於商轉狀態，裝置容量約 2,200 萬瓩，為整個國家提供 1/3 的電力來源。

文在寅表示，韓國將放棄以核電為中心的國家發展策略，退出核電時代。有關新建核電機組的計畫均會取消，目前商轉中的核電機組未來不會延役，國內第二大核電機組月城 1 號也會盡快關閉。

文在寅也提到，核電廠遇到地震時的安全性是決定逐步淘汰核電的主要原因。2016 年發生於慶州的地震讓他發覺，韓國不再是一個安全的地震帶，在 2011 年福島事故後加強的抗震措施也需重新檢查。文在寅補充，他知道國家能源政策的轉型並不容易，也承認會面臨很多困難，逐步淘汰核電政策是「長期」逐步降低對核電的使用，政府也將「積極培育安全、乾淨的能源產業」，包括再生能源與液態天然氣發電，另外也會降低燃煤發電，使能源產業成為韓國國家發展的新引擎。❁

資料來源：

1.Nuclear Engineering Magazine. “Korea to decommission its oldest reactor.”

2.World Nuclear News. “Korea's nuclear phase-out policy takes shape.”

美國計畫重啟雅卡山最終處置場計畫

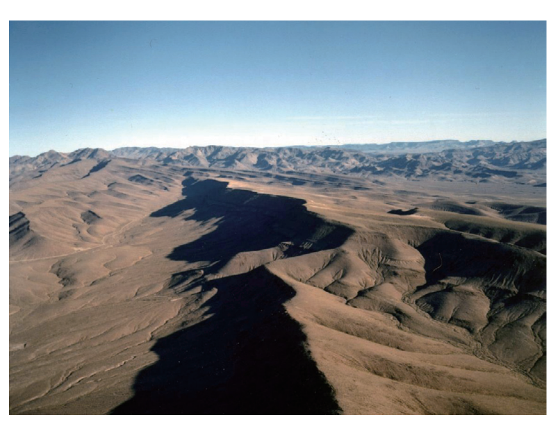
文・編輯室

美國政府審計署（Government Accountability Office，GAO）於今（2017）年6月初時表態，指出美國能源部（DOE）與核能管制委員會（NRC）均需要重建其組織能力，來重啟位於內華達州的雅卡山高放射性廢棄物最終處置場建設計畫執照的審核程序。

美國在1982年成立的《放射性廢棄物政策法（Nuclear Waste Policy Act》中確立了聯邦政府需對所有民用用過核燃料負責，政府（透過能源部）需在1998年前開始將核電設施內的用過核燃料移出，至聯邦設施作處置。但該法案在1987年修法後則直接指定雅卡山做為7萬噸高放射性廢棄物唯一的最終處置場址。

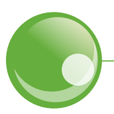
能源部在2008年時曾向核管會申請建設執照，但歐巴馬行政當局後來決定中止該計畫，並另外成立高級委員會（High-level Blue Ribbon Commission）來調查其他可行方案，核管會也在2011年停止了該計畫的執照審核過程。但是，美國上訴法院在2013年8月時下令核管會恢復執照申請在技術與環境上的審查，核管會也隨後在2015年初發表最終版的安全評估報告，並在2016年中公開與環境影響相關的補充，而在做出最終決定之前必須完成的聽證會則維持暫緩。

隨著雅卡山最終處置場計畫再次受到川普執政團隊的關注，眾議院之下的能源暨商業委員會（Committee on Energy and Commerce）要求審計署對重啟該計畫執照審核過程可能需要的步驟做出審查，審計署隨後也確立4個繼續執照審核所需的關鍵步驟。



▲雅卡山（圖片來源：Nuclear Engineering International）

審計署表示，核管會需要先找到方向並持續爭取資金來重啟該計畫的執照審核過程，核管會高層的5名委員（Commissioner）也需決定執照審核的時間表，以及相關法規是否有需要更新，才可讓核管會、能源部以及其他相關單位釐清所需要的花費，並以此來爭取經費。第二，能源部、核管會與其他非聯邦單位都應該透過重新招聘在法規、科學與其他方面的專家，來重新建立其組織的能力。第三，核管會以及旗下的核能安全與執照委員會（Atomic Safety and Licensing Board）需要下達指令來重





▲ 雅卡山最終處置場地下探測隧道（圖片來源：DOE/NRC）

啟裁決，並就處置場安全與其他方面舉行聽證會。最後，核管會在決定是否核發建設執照前必須審核過所有相關的報告與資料。

另外，審計署還提出目前至少有兩個爭議點還未解決，這兩點極有可能會影響審查過程的時間表。第一項為能源部必須獲得的土地與水源建設許可，第二項則是有關最終處置場安全規範的修改，核管會將面臨多方法律上的質疑與挑戰（legal challenge），而這也有可能導致執照審核過程遭到延長。

眾議院委員會通過放射性廢棄物管理法案

在審計署公開審查結果後沒多久，眾議院的能源暨商業委員會已在 6 月底，以 49：4 的投票結果通過眾議院第 3053 號文件—《2017 年放射性廢棄物政策法修正案》，旨在改革美國的放射性廢棄物管理政策，確保政府履行處置用過核燃料與其他高放射性廢棄物的義務，該法案同時也「保留」雅卡山最終處置場計畫，因為雅卡山是能最快達到這個目標的道路。

根據能源暨商業委員會的說法，該修正案除了保留雅卡山最終處置場計畫為「替用過核燃料與高放射性廢棄物找到落腳之處」的捷徑之外，同時也授權中期貯存設施（包含私人營運的貯存設施），在雅卡山最終處置場取得運轉執照並準備好接收廢棄物之前，替這些放射性廢棄物的中期貯存多提供了一項選擇。

該修正案對美國放射性廢棄物管理政策所帶來「實際性的改革」還包括了目前儲存於各電廠中的用過核燃料，其集中式中期貯存的規定，以及有關能源部未來將於何時正式開始處理用過核燃料的說明。該修正案涉及多項與雅卡山最終處置場相關的議題，像是場址土地收回與水源供應等；另外也闡述了與開發最終處置場相關的監管和許可要求，也對放射性廢棄物基金的相關條例進行了修正，以確保籌募到的資金在整個處置場計畫過程中都可供其使用。

另外，眾議院的撥款委員會也在這個時間點公布了《2018 財政稅務年能源與水資源撥款法案》，將為放射性廢棄物最終處置計畫撥款 9,000 萬美元（約 270 億新台幣），以及為核管會繼續雅卡山最終處置場運轉執照審核撥款 3,000 萬美元（約 90 億新台幣）。該法案所涵蓋的撥款總金額高達近 38 億美元（約 1,140 億新台幣），其中有近 10 億美元（約 300 億新台幣）都是與核能創新與增長的研究、發展等活動有關。這次的金額也比 2017 財政稅務年所制定的金額少了 4,800 萬美元，但比總統預算要求高了約 2.7 億美元。

資料來源：

1.Nuclear Engineering International. “The US looks at steps needed to restart the Yucca Mountain project.”

2.World Nuclear News. “US waste management bill passes committee vote.”

加拿大縮小**最終處置場選址範圍**

文・編輯室

加拿大放射性廢棄物管理機構（Nuclear Waste Management Organisation，NWMO）表示，中央休倫市（Central Huron）與白河市（White River）這兩個地區已經被排除成為用過核燃料深地層處置場的潛在場址。NWMO 正致力於確認場址是否適合作為處置場的一項長期程序，2010 年時推動兩階段初步評估過程，從主動表態有興趣的地區中篩選、縮小研究的區域。

中央休倫市與白河市是在 2012 年時正式表達有興趣成為深層地質處置場的潛在場址，啟動第一階段的地質學潛在適應性研究。2015 年 1 月白河市通過第一階段──確認「有很強大的潛力可滿足嚴格的安全與岩土工程要求，並使該計畫符合其長遠願景」。同年 10 月，中央休倫市也通過了第一階段的調查。

經過多年細部的調查後，NWMO 卻宣布這兩個地區不再列入潛在場址的考慮範圍，雖然這兩個地區都對此計畫有興趣，但是 NWMO 表示，它們無法附加更多的利益，「以提供足夠的信心在其附近推展岩土研究所需要的水平」不過，這兩個地區在選址程序上仍扮演重要的角色，因為在它們的鄰近區域將繼續進行場址調查工作。

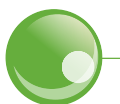
NWMO 場址選擇部門的副總經理貝爾發赫（Mahrez Ben Belfadhel）表示：「當我們致力於確定一個首選的場址時，我們需要更聚焦在有強大潛力、可滿足安全要求的明確地點，並為持續的開發此計畫奠定基礎。」他說：「中央休倫市與白河市都代表加拿大人對此計畫提供了重大的貢獻，它們持續的領導非常有價值，我們也將共同努力為其附近地區的後續工作制定計畫。」

安大略省與薩斯卡其萬省（Saskatchewan）共有 21 個地區要求加入潛在場址的初步調查，第二階段有 11 個地區入選；目前剩下盲河（Blind River）與埃利奧特湖（Elliot Lake）、伊尼亞斯（Ignace）、霍恩帕尼（Hornepayne）、休倫湖金洛斯（Huron-Kinloss）、瑪尼托瓦基（Manitouwadge），以及南布魯斯（South Bruce）6 處。

NWMO 強調，將持續進行更細部的場址特性調查，逐漸縮減潛在場址的數量，直到選出一個既安全又有社會共識的最佳地點。

資料來源：

http://www.world-nuclear-news.org/WR-Canada-narrows-repository-site-search-2606177.aspx

台法核廢論壇借鏡法國核廢處理經驗

文・編輯室


▲法國蘆伯中低放射性廢棄物最終處置場

法國國家放射性廢棄物管理專責機構（ANDRA）目前營運管理 3 座中低放射性廢棄物最終處置場，是全球最早成立的放射性廢棄物管理專責單位。3 月 21 日台電公司邀請 3 位 ANDRA 經驗豐富的專家來台分享放射性廢棄物的處置經驗。

根據台電公司的資料，台灣 105 年總發電量達 2,641 億度，其中核能發電達 317 億度，占比 12%。根據國際原子能總署（IAEA）的統計，法國目前擁有 58 部核能機組、核能發電占比高達 76%，一年發電度數超過 4,000 億度，是當今全世界核能發電比例最高的國家。為積極推動我國放射性廢棄物處理，台電邀請 ANDRA 的專家來台，舉辦「ANDRA 法國放射性廢棄物專責管理機構實務經驗國際論壇」。

法國目前已設置完成 3 座中低放射性廢棄物最終處置場，並已完成一座深入地下 490 公尺的高放射性廢棄物處置實驗坑道，其寶貴的實務經驗，可作為台灣推動放射性廢棄物處置的參考。

ANDRA 是法國唯一負責放射性廢棄物管理的單位，1979 年由法國原子能委員會成立，於 1991 年依據放射性廢棄物法（Waste Act）授權提升為獨立專責機構，員工約 650 人。目前正進行西吉歐（Cigeo）高放射性廢棄物最終處置計畫，預計 2030 年啟用運轉。

此次來台參與論壇的 ANDRA 專家，於會中分享法國從選址規劃、公眾溝通到實際營運技術等各種層面的實務經驗。其中，首席技術長、國際研究發展處處長藍代斯（Patrick

Landais）表示，推動處置場的計畫需要與民眾深入的對話，共同參與，才能取得共識。「計畫一開始，首先要提供民眾非常多的資訊，光是提供資訊還不夠，我們必須對談，加上對談仍然不夠，還必須建立『共同建設』的機制，就是要讓地方政治與社群參與整個計畫，這是能順利推動處置場計畫唯一而且是必須的方式。」

會中 ANDRA 國際關係部經理鮑松（Richard Poisson）以蘆伯（Aube）中低放射性廢棄物最終處置場為例，分享法國放射性廢棄物處置的推動歷程。鮑松指出，法國第一座放射性廢棄物處置場芒什（Manche）於 1969 年啟用，運轉 25 年後於 1994 年貯滿封閉。法國提早自 1984 年即展開第二座處置場的候選場址特性調查以及公眾諮詢，強化公眾參與，最終選定法國東北部的蘆伯。以地表混凝土模組方式興建面積達 95 公頃的中低放射性廢棄物處置場，並於 1992 年啟用營運至今，截至 2015 年約已存放 30 萬立方公尺的中低放射性廢棄物。

針對推動放射性廢棄物處置關鍵的公眾溝通，鮑松舉例，蘆伯處置場設有獨立的地方資訊委員會，由管制機關──法國原能會任命委員，其中成員超過半數由全國與地方民意代表組成，並由地方議會的議長擔任委員會主席，同時結合商會、協會與地方企業代表；法國原能會、政府及 ANDRA 的代表不是委員會成員，而是參與者，藉此強化公眾在放射性廢棄物處置議題上的共同參與，可增加社會公信力，有助於政策推行。

此次論壇除法國 ANDRA 的專家之外，國內產官學各界人士也共同參與關心放射性廢棄物處置的議題，包括行政院原子能委員會、工研院、台綜院與中央大學等研究學界，以及綠色公民行動聯盟、地球公民基金會等環保團體。

法國放射性廢棄物專責機構的成立與組織運作經驗、由地方首長提出申請的「自願場址方案」選址方式，以及與公眾溝通與民意對話互動的多元參與機制，皆可作為我國推動放射性廢棄物處置的參考，台灣與法國在放射性廢棄物處置領域實有必要長期保持交流互動。



▲ ANDRA 法國放射性廢棄物專責管理機構實務經驗國際論壇，左 5、右 5、右 2 分別為 ANDRA 專家鮑松、藍代斯、索朗德。

核能新聞

文・編輯室

國外新聞

瑞士將邁向非核電家園

瑞士已透過公投決定逐步淘汰為國家提供約 1/3 電力的核電，作為修改後能源策略的一部份。根據聯邦政府網站公布於近期舉行的公投結果顯示，有近 6 成的民眾支持停止建造新的核電廠。瑞士選民也支持政府將為再生能源提供數十億美元補貼的計畫，來停止新建核電廠，並為營運狀況不佳的電力公司帶來希望。有關「2050 年能源策略」法規的爭論重點放在消費者與納稅人對即將採取的措施需付出的代價，以及太陽能與風能發電上升 4 倍（根據法規估計）是否能在 2035 年時帶來穩定的電力來源。該法規規定每年將從電力使用者中籌取 4.8 億瑞士法郎（約 155 億新台幣）來投資風能、太陽能與水力發電等再生能源；另外還將徵收 4.5 億瑞士法郎（約 145 億新台幣）的化石燃料稅，期望能使建築物的能源消耗減少 43%（與 2000 年的水平相比）。

瑞士擁有 5 座核電廠，第 1 批預計將在 2019 年關閉，剩下的都還沒有確定年限，只要符合安全標準就可以繼續運轉。「2050 年能源策略」法案提到了這 5 座核電廠運轉至其運轉壽命期限時的除役計畫，但由於瑞士所有核電廠持有的運轉執照均無年限，因此核電停運的日期並不明確。2016 年 11 月，瑞士居民再根據綠黨提出在 2018 年關閉第一批核電廠，並在 2029 年完全無核的情況下，拒絕加速淘汰核電。瑞士政府認為，提高核安標準意味著新建核電廠不再具有成本效益，並指出英國耗資 180 億英鎊（約 7,200 億新台幣）新建的辛克利角核電廠有可能會需要用到公共津貼來支付。淘汰核電的反對者則警告，政府推行再生能源的計畫昂貴，除了不環保之外對國家能源安全也將帶來風險。

Nuclear Engineering International, 2017/05/24

美國克渥尼核電廠的用過核燃料全數置入乾貯設施

位於威斯康辛州的克渥尼（Kewaunee）核電廠，在結束近 40 年的運轉並於 2013 年中關閉後，已在最近成功將所有用過核燃料轉移至電廠內的乾式貯存設施中貯存。美國核子設備公司 NAC International 在該電廠所贏得的乾貯設施合約內容主要為廠內乾式用過核燃料中期貯存設施（ISFSI）的擴建及施工，以及用過核燃料的轉移工程，包含了電廠內剩餘近 900 束核燃料於貯存容器的包裝。NAC 表示，自開始執行合約內容至今已有 3.5 年，完成所有用過核燃料的轉移為該電廠自關閉後的一個重要里程碑。

僅有一部 57.4 萬瓩壓水式反應爐的克渥尼核電廠，自 1974 年開始運轉，在 2005 年時以 2.2 億美元（約 65 億新台幣）的價格現金賣給多明尼恩能源公司（Dominion Energy, Inc），其中包含了 3,650 萬美元的核燃料。但多明尼恩能源公司在 2011 年公司策略改變後也期望將該電廠售出，不過一直都沒有買家

出現。克渥尼電廠已於 2013 年 5 月除役，根據核能管制委員會（NRC）表示，該電廠主要的除役與拆除作業預計將在 2069 年開始。

Nuclear Engineering International, 2017/07/16

德國政府接管放射性廢棄物中期貯存的工作

德國政府已在最近與德國核子服務公司（Gesellschaft fur Nuklear-Service mbH）達成協議，移交原由該公司負責的放射性廢棄物中期貯存作業，聯邦政府的核安相關部門 BMUB 與該公司在今（2017）年 3 月時即為此合資成立了聯邦臨時貯存協會（Bundes Gesellschaft fur Zwischenlagern）。德國核子服務公司是由德國多個電力公司聯合成立的核子相關企業，主要為管理來自德國核電機組所產生的放射性廢棄物以及用過核燃料。

德國核子服務公司在 5 月初即宣布已與聯邦政府 BMUB 達成協議，轉讓其在聯邦臨時貯存協會的股份，聯邦政府自 2017 年 8 月起將成為聯邦臨時貯存協會的唯一持有者。另外，作為協議的一部份，該公司也將把中期貯存的工作轉移給德國政府，包含位於阿豪斯（Ahaus）以及戈爾萊本（Gorleben）現有的中期貯存設施，該公司部分位於該設施的員工也會一同轉至協會；而位於各電廠、共 12 座中期貯存設施的管理責任也將在 2019 年時轉交至德國政府。

德國在 2011 年日本福島事故後立即宣布中止 8 部機組的運轉執照，並修改國家能源政策，決定於 2022 年全面停止核電的使用，邁向無核電家園。

World Nuclear News, 2017/05/09

法國或於 2025 年前關閉 17 部機組

法國新任環境部長胡洛（Nicolas Hulot）最近在電台透露，法國有可能在 2025 年時將關閉 17 部核電機組，來達到法國欲降低國家電力組合中核電占比的期望。

由於議會在 2015 年時立法迫使政府需在 2025 年把核電占比自 75%降至 50%，胡洛對此表示，法國必須關閉一部分的反應爐以實現這個目標，數量有可能達 17 座機組，但還需要再做討論。法國現有機組數量為 58 部，每年通過向周圍國家出口電力來獲得約 34 億美元（約 1,050 億新台幣）的收入，但在 2011 年日本福島事故後國內對核電的支持率受到影響，政府亦鼓勵國家朝向再生能源技術來轉型。

法國當初興建多數核電廠主要是因應石油價格帶來的衝擊，如要延長這些機組運轉的時間則須面臨冗長的審查過程、高額的投資以及政治因素的挑戰。

Reuters & Phys, 2017/07/10

英國啟用首座乾式貯存設施

法國電力公司（EDF Energy）已於最近將首批用過核燃料轉移至英國賽茲維爾 B（Sizewell B）核電廠內的壓水式反應爐用過核燃料乾式貯存設施，該設施也是英國首座乾貯設施。該座由美國霍爾泰克公司（Holtec International）所提供的乾貯設施於 2016 年 4 月舉行開幕儀式，第一座裝有用過核燃料的貯存容器（HI—STORM MIC）也已經於今（2017）年 3 月移入乾貯設施內，首批移入乾貯設施的貯存罐一共有 7 座。

法國電力公司高層主管克魯克斯（Stuart

Crooks）指出，該座乾貯設施能夠在安全的情況下於賽茲維爾 B 電廠貯存所有在運轉壽命期間所產生的用過核燃料，直到深層地質處置場建設完成。該座乾貯設施預計至少會運轉至 2035 年，期間也會持續接收該電廠所生產的用過核燃料。

用過核燃料乾式貯存法是待用過核燃料在燃料池中完成冷卻後將其裝入特殊金屬容器中，使用焊接密封，再將容器放入一個防漏的鋼筋混凝土護箱作為屏蔽，再進行貯存。霍爾泰克公司的乾貯設施技術雖在歐美被廣泛使用，但賽茲維爾 B 核電廠卻是霍爾泰克公司首次在英國實行該技術。

World Nuclear News, 2017/07/06

瑞典奧斯卡桑核電廠 1 號機終止運轉

瑞典奧斯卡桑（Oskarshamn）核電廠 1 號機已於今（2017）年 6 月中永久關閉，比原先預計的 6 月底提早了近 10 天，原因是出現了運轉問題，導致該部機組在關閉前自動停機。奧斯卡桑電廠營運公司 OKG 的最大股東德國意昂公司（E. On）在 2015 年時因為批發電價過低、核電附加稅的負擔過重等原因，決定將永久關閉該電廠 1、2 號機組。

該部機組的除役過程分成 4 個階段，第一階段主要是將用過核燃料自反應爐移至電廠內的用過核燃料池中貯存約一年的時間，再運送至瑞典 SKB 公司的濕式中期貯存設施（Clab）貯存。待移出所有用過核燃料後即可以進入第二個階段執行監管，然後再進行建築物的拆解，在確認廠址的放射性恢復至自然水平即可解除管制，轉作其他用途。由日本日立集團與美國奇異公司合資建立的奇異日立核能公司（GE Hitachi Nuclear Energy）於今年初獲得拆除該兩部機組的合約，拆除內容包含切割兩部機組反應爐壓力容器的內部組件，並將這些拆解下來、含有放射性的廢棄物進行剪切與包裝，以利進行最終處置。

Nuclear Engineering International, 2017/06/21

立陶宛伊格納林納核電廠獲准興建低放射性廢棄物處置場

立陶宛環境部門旗下的國家實體計畫與建設督察署（State Inspectorate for Physical Planning and Construction）於近期批准伊格納林納（Ignalina）核電廠設立一座地表中、低放射性廢棄物處置場的計畫，處置場的設計為 36 個鋼筋混凝土區域，可放置容量 10,000 立方公尺經水泥固化的放射性廢棄物桶，將建立在伊格納林納核電廠旁邊，來貯存該電廠除役期間所產生的放射性廢棄物。

該座處置場將 36 個鋼筋混凝土窖分為 3 組，12 個為 1 組，第 1 組處置區域預計會在 2023 年投入商轉，第 2 組處置區域的建設工程將在第 1 處置區開始運轉後動工。第 1 處置區在貯滿之後就會把整個處置區封存起來，避免裡面的放射性物質外洩，然後再開始第 2 處置區的運轉，目前第 3 處置區域則仍未做出任何決定。

Nuclear Engineering International, 2017/06/08

原能會完成核一廠除役計畫審查

6 月 28 日，原能會審查通過台電公司「核能一廠除役計畫」，成為我國第一座除役的核電廠。

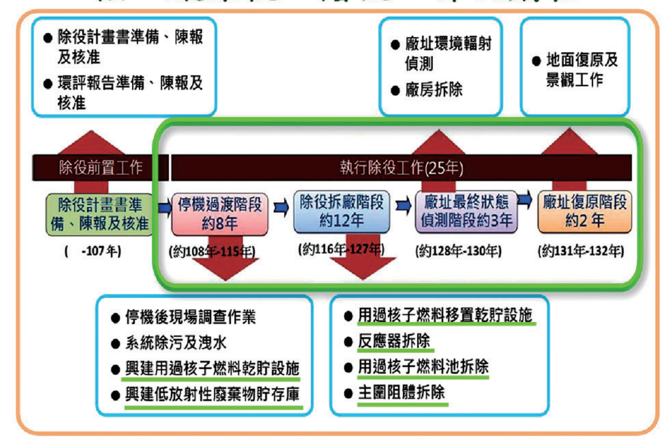
台電公司核一廠 1 號機運轉執照，將於 107 年 12 月屆滿。台電公司依《核子反應器設施管制法》（核管法）規定，於 104 年 11 月提出核一廠除役計畫，申請除役許可。經原能會程序審查確認後，於 104 年 12 月立案審查。

核一廠除役主要分成 4 個階段，包括停機過渡階段 8 年、除役拆廠階段 12 年、廠址最終狀態偵測階段 3 年，以及廠址復原階段 2 年，共計長達 25 年（圖 1）。原能會為審查核一廠除役計畫，邀請外部學者專家組成審查專案小組，依專業分成 10 個審查分組，經過 3 回合嚴密審查後，確認符合核管法規定，審查通過。台電公司「核能一廠除役計畫」正進行第二階段環境影響評估審查，經環保署審查通過後，原能會即可核發核一廠除役許可，正式展開核一廠除役作業。

核一廠除役計畫審查期間，原能會設置核電廠除役官網專區，公開核一廠除役計畫審查各項有關資訊，並辦理核一廠除役訪查活動、審查地方說明會及公眾參與平台會議（圖 2），廣泛徵詢公眾意見，以期順利執行核一廠除役作業。原能會「核電廠除役管制專區」網址：http://www.aec.gov.tw/category/ 核物料管制 / 核電廠除役管制 /6_2550.html。

原能會為嚴密管制除役作業，已成立「核電廠除役安全管制專案小組」，確保除役作業安全，並督促台電公司如質如期執行除役計畫。原能會另要求台電公司依核管法規定，於 107 年 12 月、110 年 7 月，如期提報核二廠、核三廠除役計畫送審。

本刊訊，2017/06/28



▲圖 1. 核一廠除役工作與期程



▲圖 2. 核一廠除役計畫審查與公眾參與

何博士的日常豆知識

Q：請問是否越靠近核能電廠輻射值越高的嚇人呢？

你知道嗎？
照一次X光的輻射量
比住在核電廠旁邊一年還高喔！

我感覺還是怕怕的，
去醫院做一下X光檢查
比較保險…

居住核電廠附近
每年輻射劑量為
0.001毫西弗

胸部X光攝影
每次輻射劑量為
0.02毫西弗

搭飛機台北往返美國西岸
每次輻射劑量為
0.09毫西弗

台灣每人接受天然背景輻射
每年輻射劑量為
1.6毫西弗

每天抽30支香煙
每年輻射劑量為
13毫西弗！

吸煙過量
有害健康

輻射量低
輻射量高

輻射無處不在，了解它、不用懼怕！

何博士的日常豆知識

輻射變出“哥急拉”？！
何博士帶你踢爆不實謠言！

關於輻射對生物的影響，
坊間有太多不實的謠傳，
請大家不要被誤導了

別把電影情節與現實
混為一談！

案例1：**金妖獸**！輻射海怪？
這是照片合成的巨型烏賊啦！

假的！

案例2：**歐買尬**！輻射突變番茄！
錯！它是新品種～牛排番茄